

Física II

Termodinámica

Calorimetría y teoría cinética molecular

Mecanismos de transferencia de calor.

Gas ideal

Interpretación molecular de presión y temperatura



Transferencia de calor

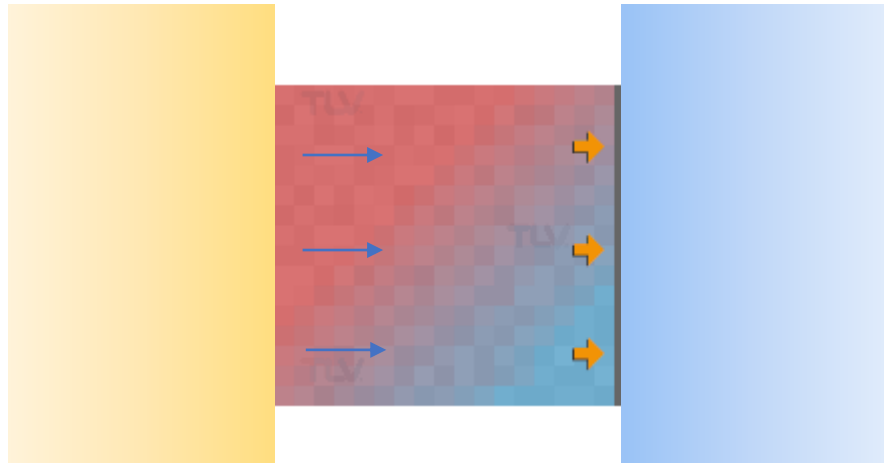
```
graph TD; A[Transferencia de calor] --> B[Expansión térmica]; A --> C[Cambio de temperatura]; A --> D[Cambio de fase];
```

Expansión
térmica

**Cambio de
temperatura**

Cambio de
fase

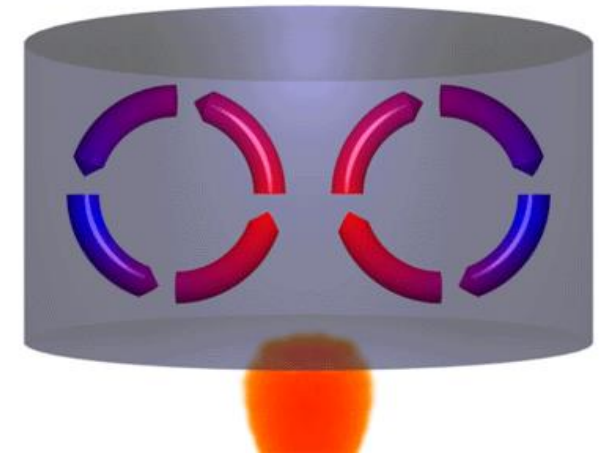
Mecanismos de transferencia de calor



Conducción

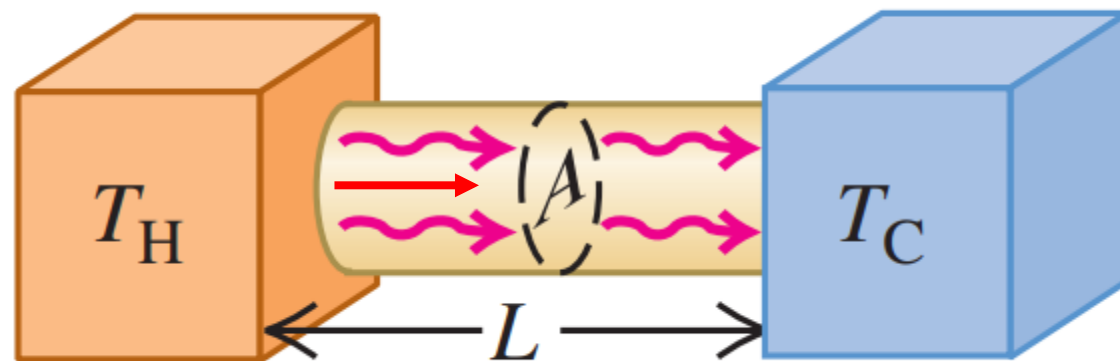


Radiación



Convección

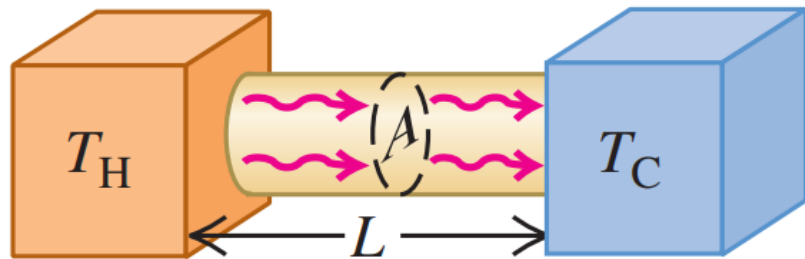
Corriente de calor



$$H = \frac{dQ}{dt}$$

Potencia

Corriente de calor

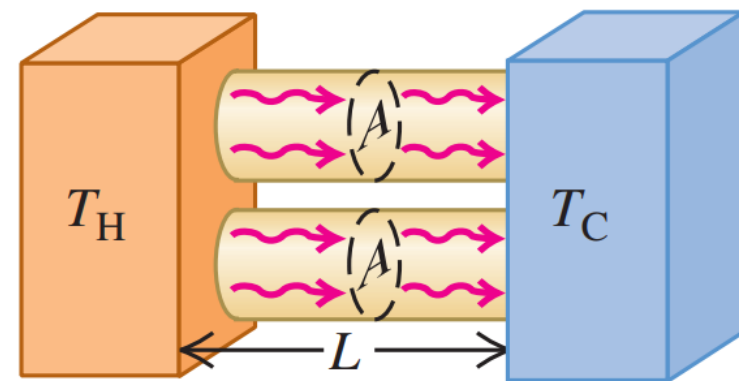


H es proporcional $T_H - T_C$

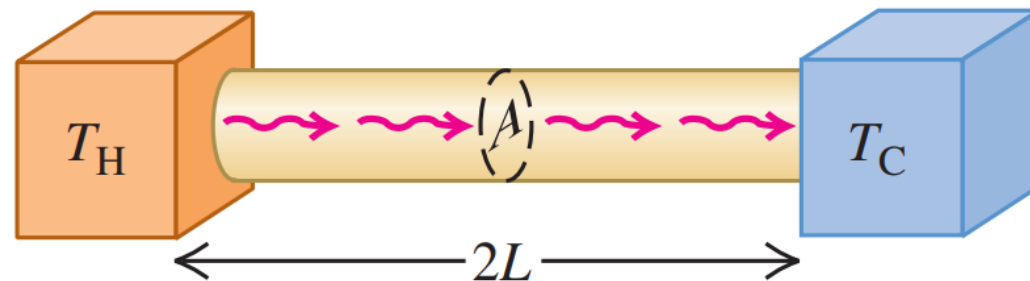
$$H \propto A \frac{T_H - T_C}{L}$$

$$H = kA \frac{T_H - T_C}{L}$$

k es la conductividad térmica



H es proporcional al A



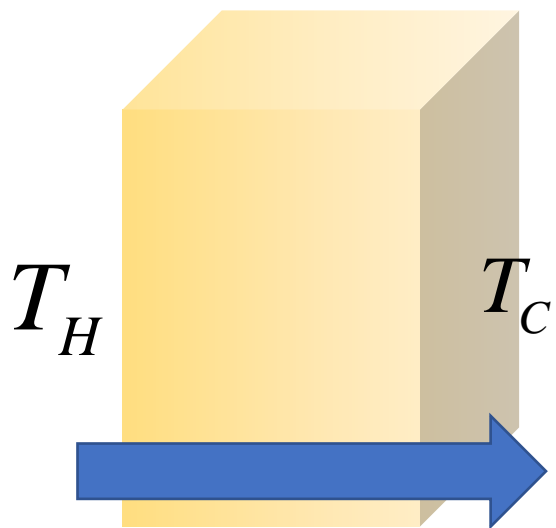
H es inversamente proporcional al L



Tabla Conductividades térmicas

Sustancia	k (W/m · K)
<i>Metales</i>	
Aluminio	205.0
Latón	109.0
Cobre	385.0
Plomo	34.7
Mercurio	8.3
Plata	406.0
Acero	50.2
<i>Sólidos (valores representativos)</i>	
Ladrillo, aislante	0.15
Tabique (ladrillo rojo)	0.6
Concreto (hormigón)	0.8
Corcho	0.04
Fieltro	0.04
Fibra de vidrio	0.04
Vidrio	0.8
Hielo	1.6
Lana mineral	0.04
Espuma de poliestireno	0.01
Madera	0.12–0.04
<i>Gases</i>	
Aire	0.024
Argón	0.016
Helio	0.14
Hidrógeno	0.14
Oxígeno	0.023

Resistencia térmica



$$H = kA \frac{T_H - T_C}{L}$$

$$H = \frac{A(T_H - T_C)}{R}$$

$$R = \frac{L}{k}$$

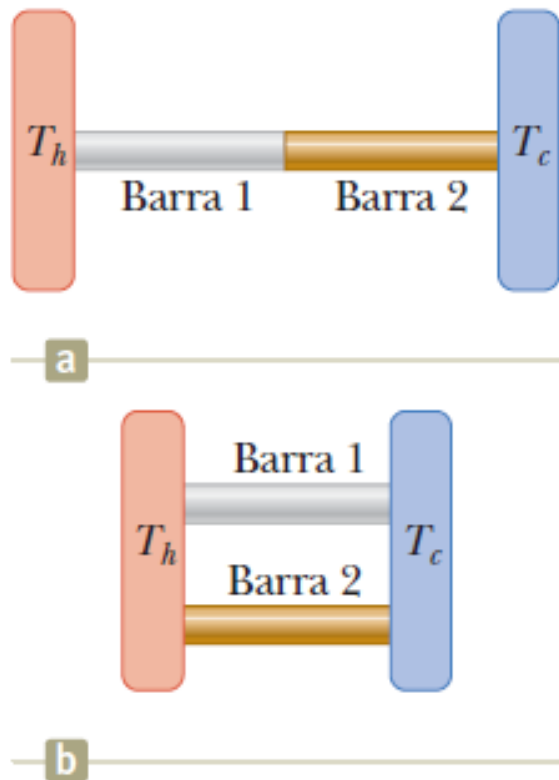


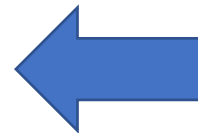
Figura 20.13 (Examen rápido 20.5) ¿En cuál caso la rapidez de transferencia de energía es mayor?

P1: ¿En cuál caso la rapidez de transferencia de energía por calor es mayor?

(a) La rapidez es mayor cuando las barras están en serie

(b) La rapidez es mayor cuando las barras están en paralelo.

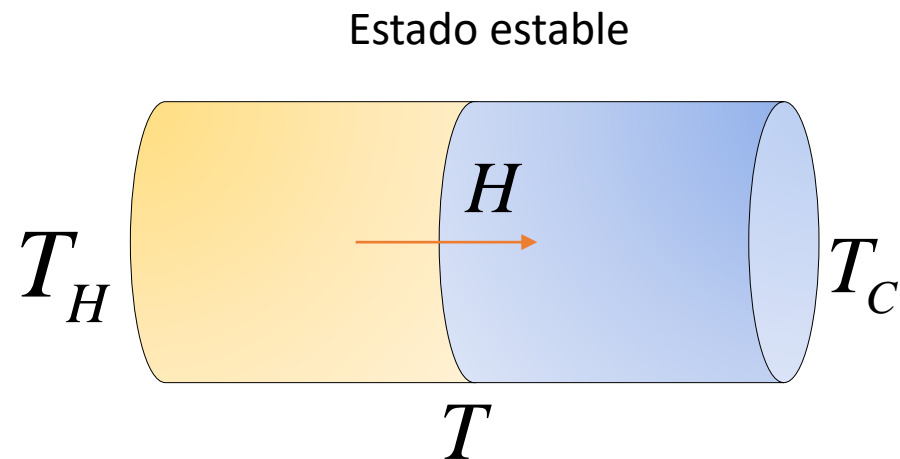
(c) La rapidez es la misma en ambos casos



Ha incrementado el área de contacto A . Hay dos corrientes de calor

Serie

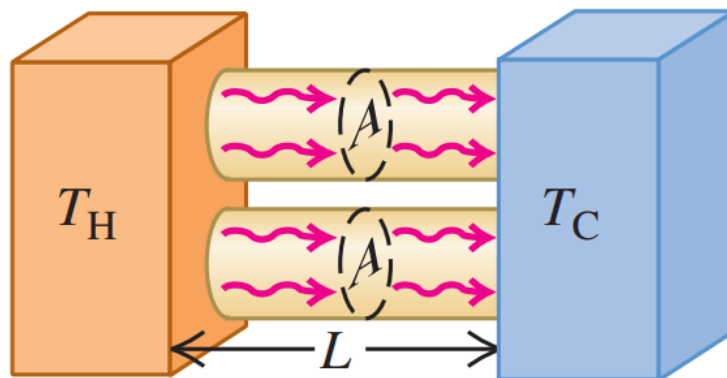
$$R = R_1 + R_2$$



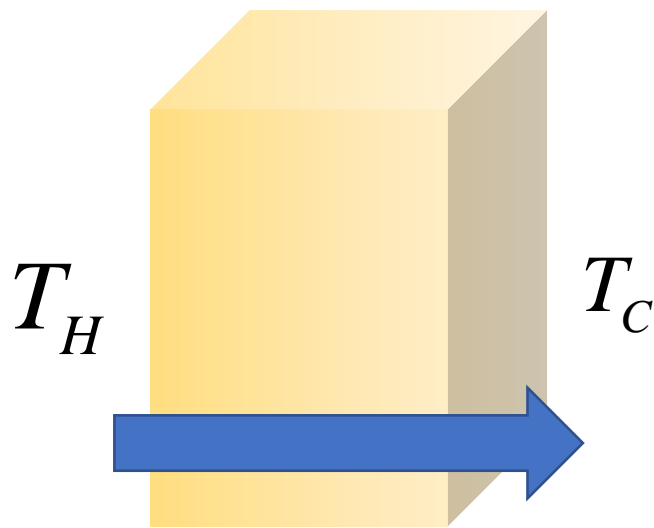
$$H_1 = H_2$$

Paralelo

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



$$H = H_1 + H_2$$



$$H = kA \frac{T_H - T_C}{L}$$

$$H = \frac{A(T_H - T_C)}{R}$$

$$R = \frac{L}{k}$$

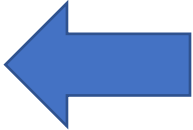
Si la temperatura varía de manera no uniforme a lo largo de la varilla conductora, introducimos una coordenada x a lo largo y generalizamos el gradiente de temperatura como dT/dx .

$$H = \frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx}$$

El signo negativo indica que el calor siempre fluye en la dirección de temperatura *decreciente*.

Una habitación tiene una pared hecha de concreto, otra de cobre y otra más de acero. Todas las paredes son del mismo tamaño y tienen la misma temperatura de 20°C.

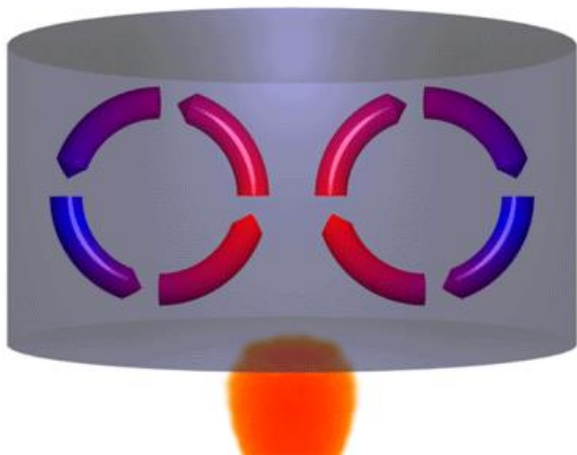
P2: ¿Qué pared se sentirá más fría al tocarla?

- i. La pared de concreto
- ii. La pared de cobre. 
- iii. La pared de acero
- iv. Las tres paredes se sentirán igual de frías al tocarlas

El material con mayor conductividad térmica k , permitirá una mayor corriente de calor

Tabla Conductividades térmicas	
Sustancia	k (W/m • K)
<i>Metales</i>	
Aluminio	205.0
Latón	109.0
Cobre	385.0
Plomo	34.7
Mercurio	8.3
Plata	406.0
Acero	50.2
<i>Sólidos (valores representativos)</i>	
Ladrillo, aislante	0.15
Tabique (ladrillo rojo)	0.6
Concreto (hormigón)	0.8
Corcho	0.04
Fieltro	0.04
Fibra de vidrio	0.04
Vidrio	0.8
Hielo	1.6
Lana mineral	0.04
Espuma de poliestireno	0.01
Madera	0.12–0.04
<i>Gases</i>	
Aire	0.024
Argón	0.016
Helio	0.14
Hidrógeno	0.14
Oxígeno	0.023

Corriente de convección



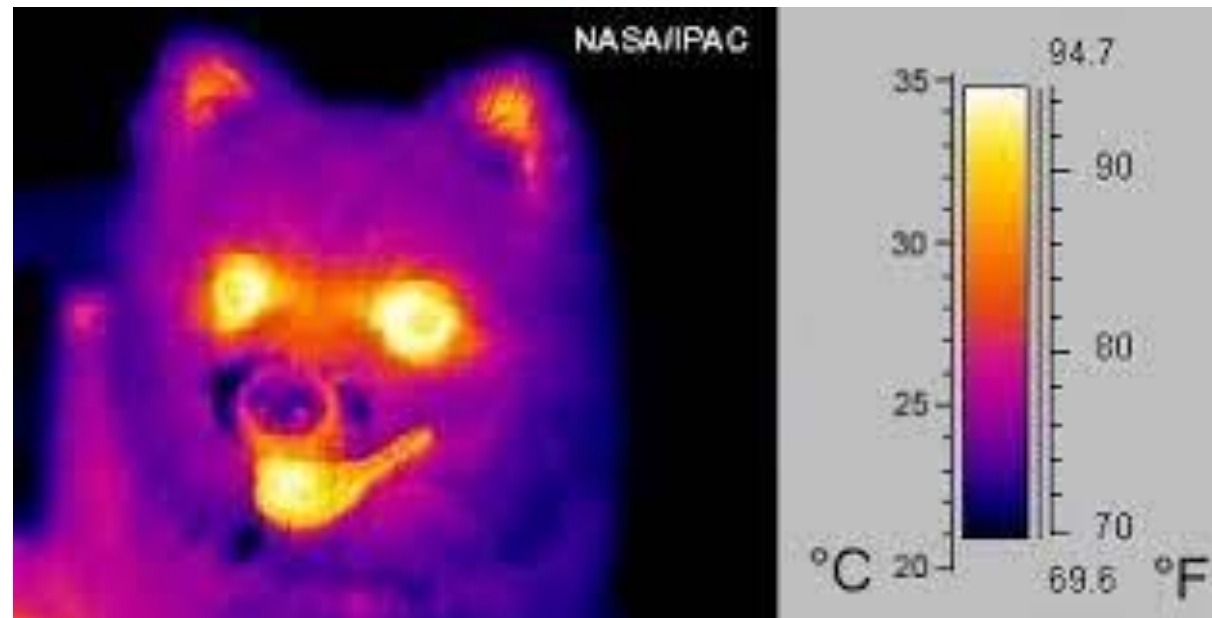
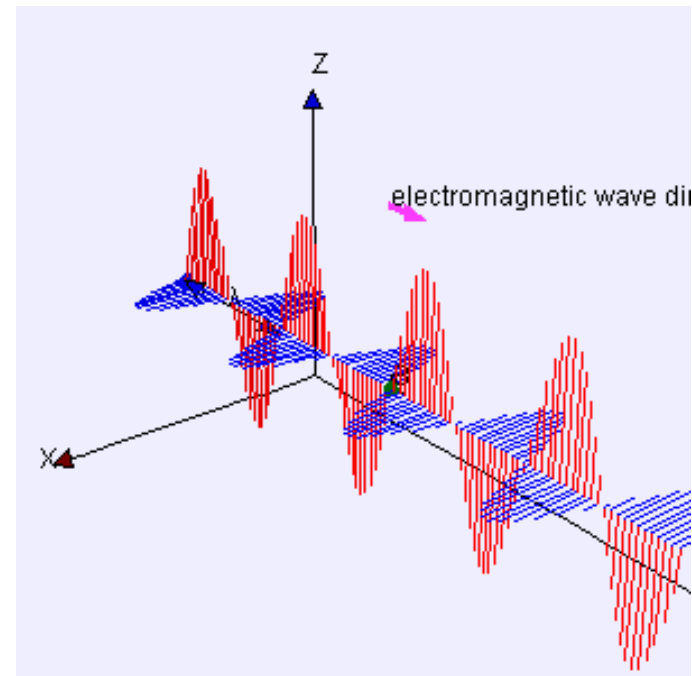
Convección natural



Convección forzada

Se denomina *corriente de convección* a una corriente de líquido o gas que absorbe calor en un lugar y luego se desplaza hacia otro donde se mezcla con una porción más fría del fluido cediendo calor. Si la causa del movimiento del fluido es la diferencia de densidad que acompaña a la diferencia de temperatura, el fenómeno se conoce como *convección natural*. Si el movimiento del fluido es debido a la acción de una bomba o un ventilador, recibe el nombre de *convección forzada*.

Radiación térmica

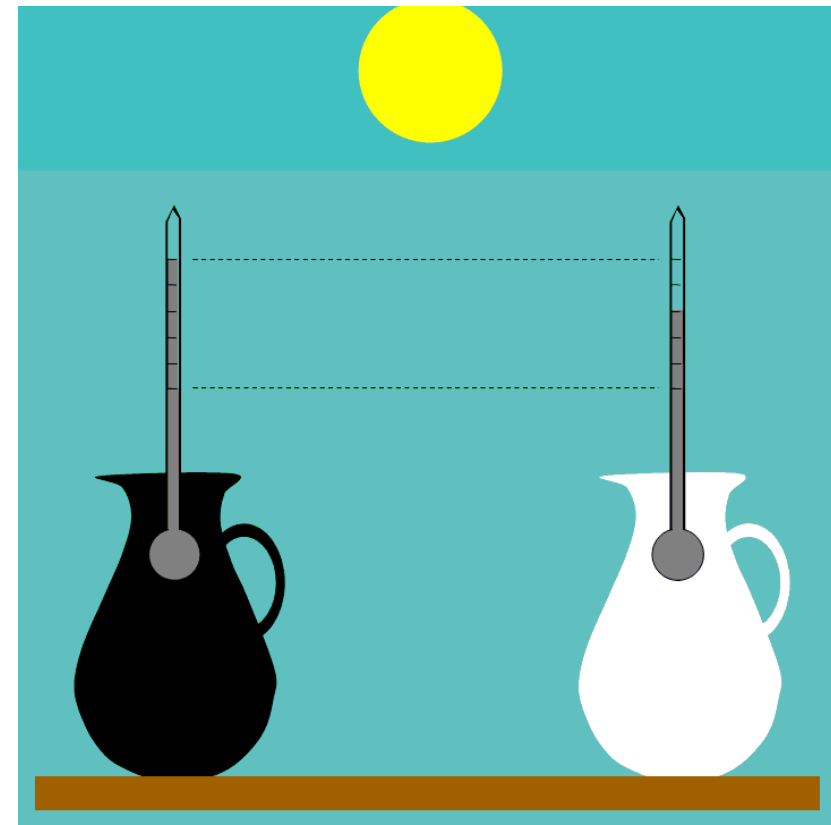


Ley de Stefan-Boltzmann

$$H = Ae\sigma T^4$$

cantidad e llamada **emisividad**
constante de Stefan-Boltzmann

$$\sigma = 5.670400(40) \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$



Absorbe más radiación

Absorbe menos radiación

Corriente de calor neto en la radiación $H_{\text{net}} = Ae\sigma(T^4 - T_s^4)$

Área de la superficie emisora A

Emisividad de la superficie e

Constante de Stefan-Boltzmann σ

Temperaturas absolutas de la superficie (T) y sus alrededores (T_s)

GAS IDEAL

GAS IDEAL

Tabla 19.1 Coeficientes de expansión promedio para algunos materiales cerca de la temperatura ambiente

Material (sólidos)	Coeficiente de expansión lineal promedio (α)($^{\circ}\text{C}$) $^{-1}$	Material (líquidos y gases)	Coeficiente de expansión volumétrica promedio (β)($^{\circ}\text{C}$) $^{-1}$
Aluminio	24×10^{-6}	Acetona	1.5×10^{-4}
Latón y bronce	19×10^{-6}	Alcohol etílico	1.12×10^{-4}
Concreto	12×10^{-6}	Benceno	1.24×10^{-4}
Cobre	17×10^{-6}	Gasolina	9.6×10^{-4}
Vidrio (ordinario)	9×10^{-6}	Glicerina	4.85×10^{-4}
Vidrio (Pyrex)	3.2×10^{-6}	Mercurio	1.82×10^{-4}
Invar (aleación Ni-Fe)	0.9×10^{-6}	Trementina	9.0×10^{-4}
Plomo	29×10^{-6}	Aire ^a a 0°C	3.67×10^{-3}
Acero	11×10^{-6}	Helio ^a	3.665×10^{-3}

^a Los gases no tienen un valor específico para el coeficiente de expansión volumétrica porque la cantidad de expansión depende del tipo de proceso por el que pasa el gas. Los valores dados aquí suponen que el gas experimenta una expansión a presión constante.

¿Cuáles eran las características de los gases?

Masa m de un gas

¿Qué es un mol?

Un mol de cualquier sustancia es aquella cantidad de la sustancia que contiene un **número de Avogadro** 6.0223×10^{23} de partículas constituyentes (átomos o moléculas).

Número de moles n

Masa molar M

$$m = nM$$

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = nMc \Delta T$$

Calor requerido para
cambiar la temperatura
de cierto número de moles

$$Q = nC\Delta T$$

Número de moles de material

Cambio de temperatura

Capacidad calorífica molar del material

$$C = Mc \quad \text{Capacidad calorífica molar}$$

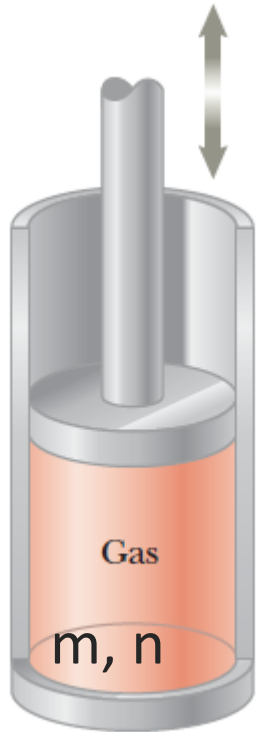
TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

<http://www.periodni.com/es/>

GRUPO	1	2											13	14	15	16	17	18
PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 1.0079 H HIDRÓGENO	2 4.0026 He HELIO																
2	3 6.941 Li LITIO	4 9.0122 Be BERILIO											5 10.811 B BORO	6 12.011 C CARBONO	7 14.007 N NITRÓGENO	8 15.999 O OXÍGENO	9 18.998 F FLÚOR	10 20.180 Ne NEÓN
3	11 22.990 Na SODIO	12 24.305 Mg MAGNESIO											13 26.982 Al ALUMINIO	14 28.086 Si SILICIO	15 30.974 P FÓSFORO	16 32.065 S AZUFRE	17 35.453 Cl CLORO	18 39.948 Ar ARGÓN
4	19 39.098 K POTASIO	20 40.078 Ca CALCIO	21 44.956 Sc ESCANDIO	22 47.867 Ti TITANIO	23 50.942 V VANADIO	24 51.996 Cr CROMO	25 54.938 Mn MANGANESO	26 55.845 Fe HIERRO	27 58.933 Co COBALTO	28 58.693 Ni NÍQUEL	29 63.546 Cu COBRE	30 65.38 Zn CINCO	31 69.723 Ga GALIO	32 72.64 Ge GERMANIO	33 74.922 As ARSÉNICO	34 78.96 Se SELENIO	35 79.904 Br BROMO	36 83.798 Kr KRIPTON
5	37 85.468 Rb RUBIDIO	38 87.62 Sr ESTRONCIO	39 88.906 Y YTRIO	40 91.224 Zr CIRCONIO	41 92.906 Nb NIOBIO	42 95.96 Mo MOLIBDENO	43 (98) Tc TECNECIO	44 101.07 Ru RUTENIO	45 102.91 Rh RADIO	46 106.42 Pd PALADIO	47 107.87 Ag PLATA	48 112.41 Cd CADMIO	49 114.82 In INDIO	50 118.71 Sn ESTAÑO	51 121.76 Sb ANTIMONIO	52 127.60 Te TELURO	53 126.90 I YODO	54 131.29 Xe XENÓN
6	55 132.91 Cs CESIO	56 137.33 Ba BARIO	57-71 La-Lu Lantánidos	72 178.49 Hf HAFNIO	73 180.95 Ta TÁNTALO	74 183.84 W WOLFRAMIO	75 186.21 Re RENIÓ	76 190.23 Os OSMIO	77 192.22 Ir IRIDIO	78 195.08 Pt PLATINO	79 196.97 Au ORO	80 200.59 Hg MERCURIO	81 204.38 Tl TALIO	82 207.2 Pb PLOMO	83 208.98 Bi BISMUTO	84 (209) Po POLONIO	85 (210) At ASTATO	86 (222) Rn RADÓN
7	87 (223) Fr FRANCIO	88 (226) Ra RADIO	89-103 Ac-Lr Actínidos	104 (267) Rf RUTHERFORDIO	105 (268) Db DUBNIO	106 (271) Sg SEABORGIO	107 (272) Bh BOHRIO	108 (277) Hs HASSIO	109 (276) Mt MEITNERIO	110 (281) Ds DARMSTADTIO	111 (280) Rg ROENTGENIO	112 (285) Cn COPERNICIO	113 (...) Uut UNUNTRO	114 (287) Fl FLEROVIO	115 (...) Uup UNUPENTIO	116 (291) Lv LIVERMORIO	117 (...) Uus UNUNSEPTIO	118 (...) Uuo UNUNOCTIO

© 2012 Eri General

Copyright © 2012 Eri General



Variables termodinámicas

Volumen - presión - temperatura

Isotérmico

$$T \text{ (cte)} \rightarrow p \propto \frac{1}{V} \quad \text{Boyle}$$

Isobárico

$$p \text{ (cte)} \rightarrow V \propto T \quad \text{Charles}$$

Isocórico

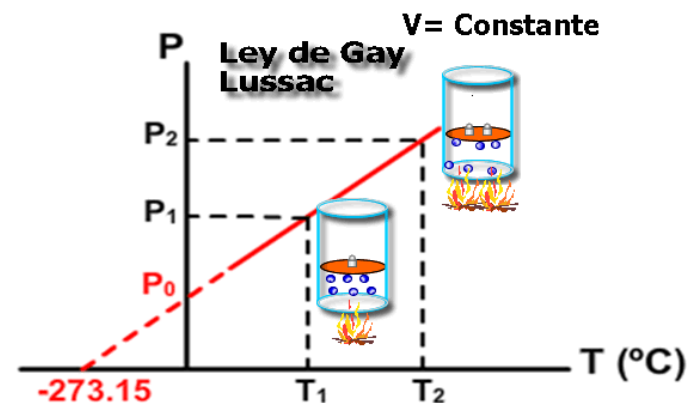
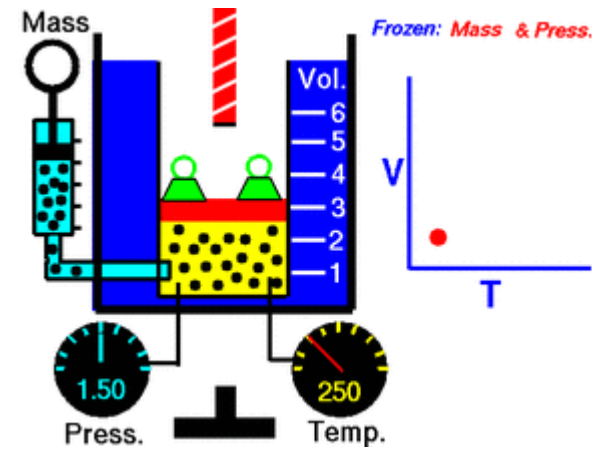
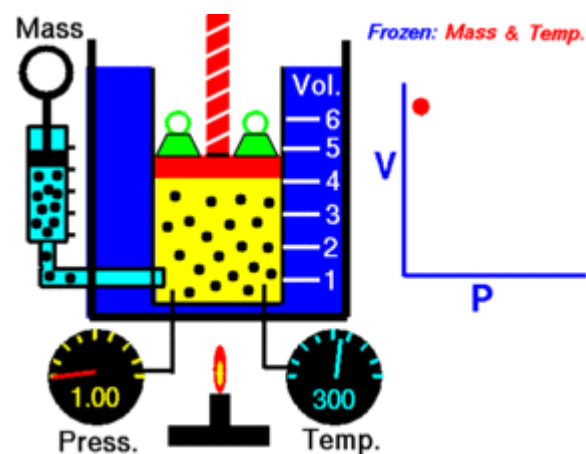
$$V \text{ (cte)} \rightarrow p \propto T \quad \text{Gay-Lussac}$$

m, n constante

$$pV = nRT$$

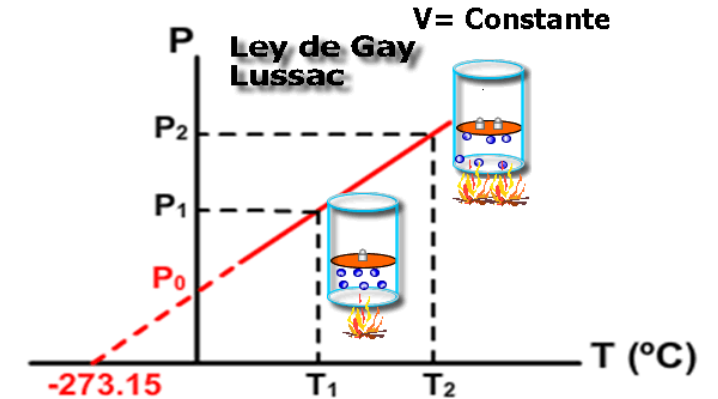
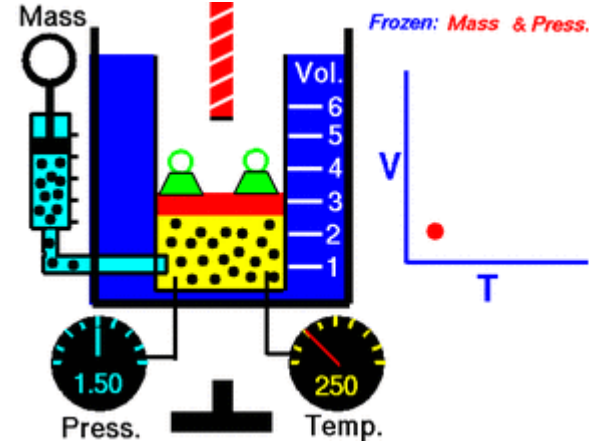
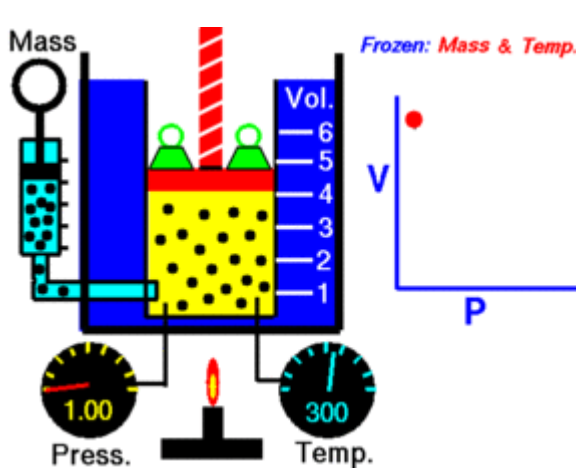
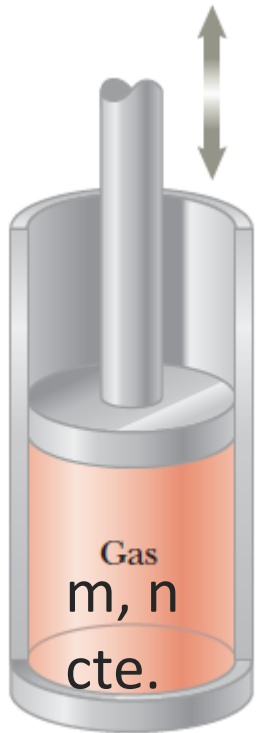
LEY DEL GAS IDEAL

Ecuación de estado



Gas real a baja presión

LEY DEL GAS IDEAL



$$pV = nRT$$

R: constante universal de los gases

$$R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \quad R = 0.08206 \text{ L} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}$$

N: número total de moléculas

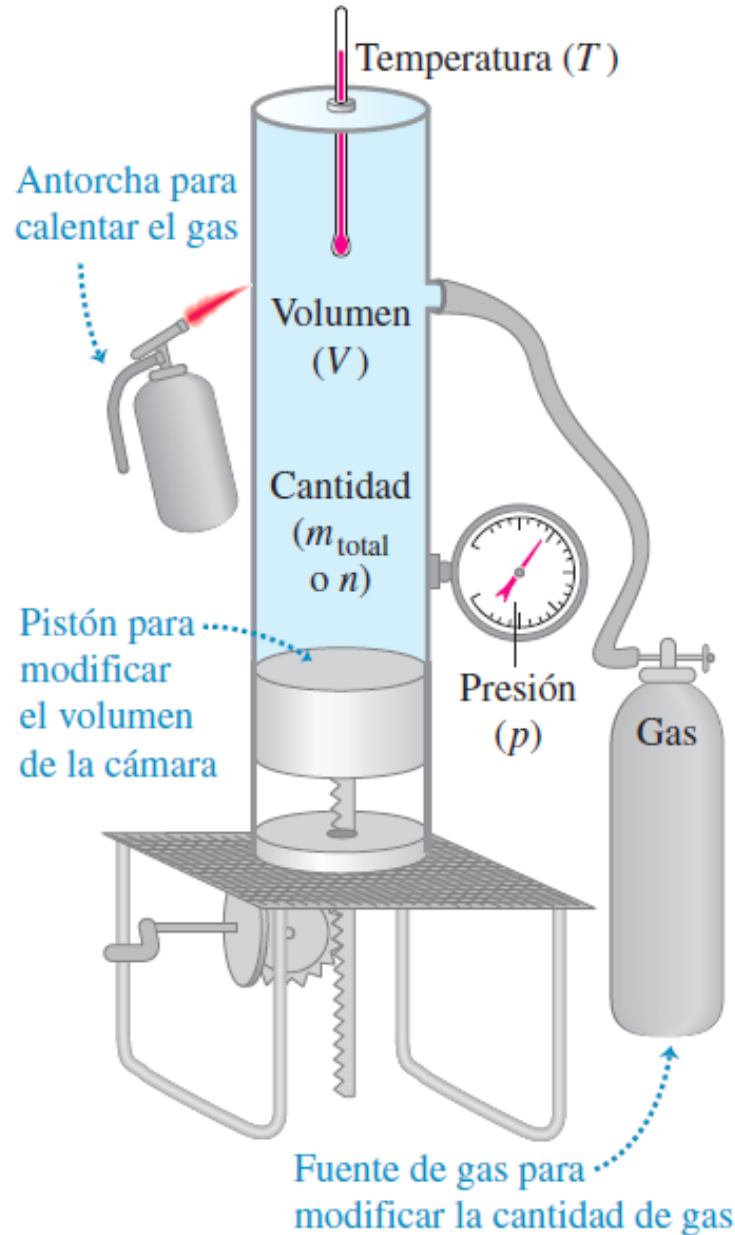
$$PV = nRT = \frac{N}{N_A} RT$$

$$PV = Nk_B T$$

k_B es la **constante de Boltzmann**, que tiene el valor

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

Ecuación de estado de gas ideal



¿A que se refiere la presión p ?

- a. A la fuerza por unidad de área ejercida por el cilindro sobre el gas
- b. A la fuerza ejercida por unidad de área por el gas sobre el cilindro
- c. Por la tercera ley de Newton, estas dos presiones son la misma p

$$m_{\text{total}} = nM \quad (\text{masa total, número de moles y masa molar})$$

Observaciones experimentales

$$V \propto n$$

$$V \propto 1/p$$

$$p \propto T$$

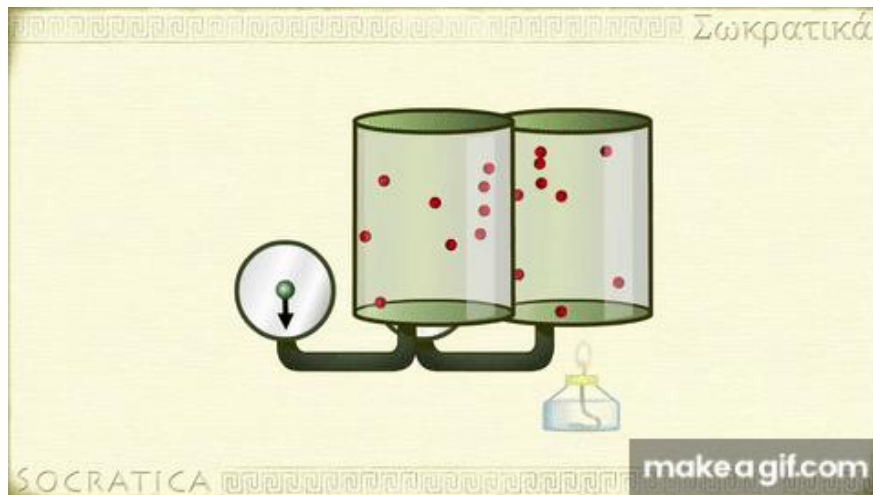
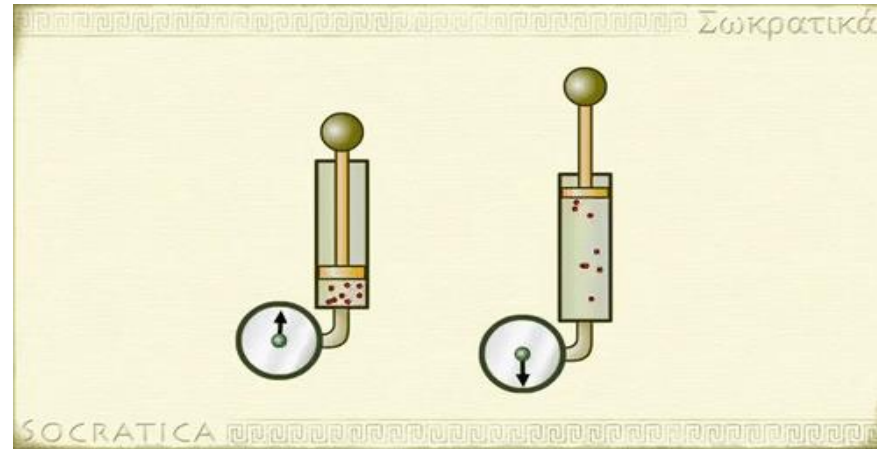
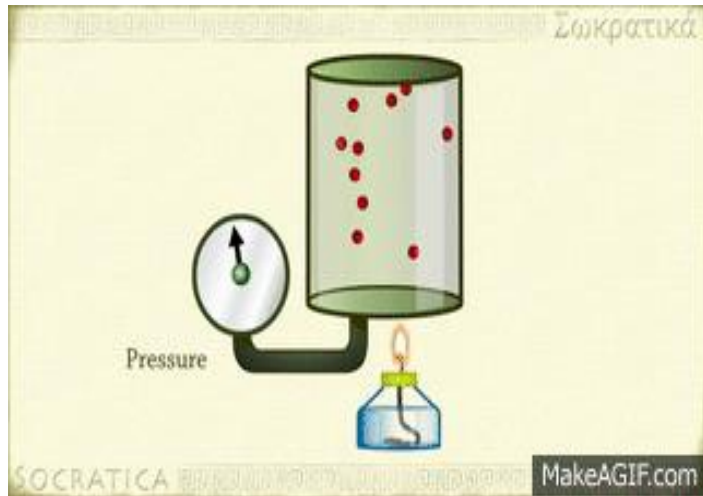
p es presión absoluta. T es temperatura absoluta

$$pV = nRT \quad (\text{ecuación del gas ideal})$$

Concepto de gas ideal

$$pV = nRT \quad (\text{ecuación del gas ideal})$$

Presiones muy bajas (1 atm) y altas temperaturas (300 K)
¿Cómo es el movimiento de las moléculas en estas condiciones?



Las moléculas del gas están muy separadas y en rápido movimiento.

Ecuación de estado de gas ideal



Ecuación del gas ideal en función de la masa total

$$pV = nRT \quad (\text{ecuación del gas ideal})$$

$$m = nM$$
$$pV = m \frac{RT}{M}$$

Expresión para la densidad de un gas

$$\rho = \frac{m}{V}$$
$$p = \frac{m}{V} \frac{RT}{M} \rightarrow p = \rho \frac{RT}{M} \rightarrow \rho = \frac{pM}{RT}$$

Gas ideal de masa constante

$$pV = \boxed{nRT}$$

constante

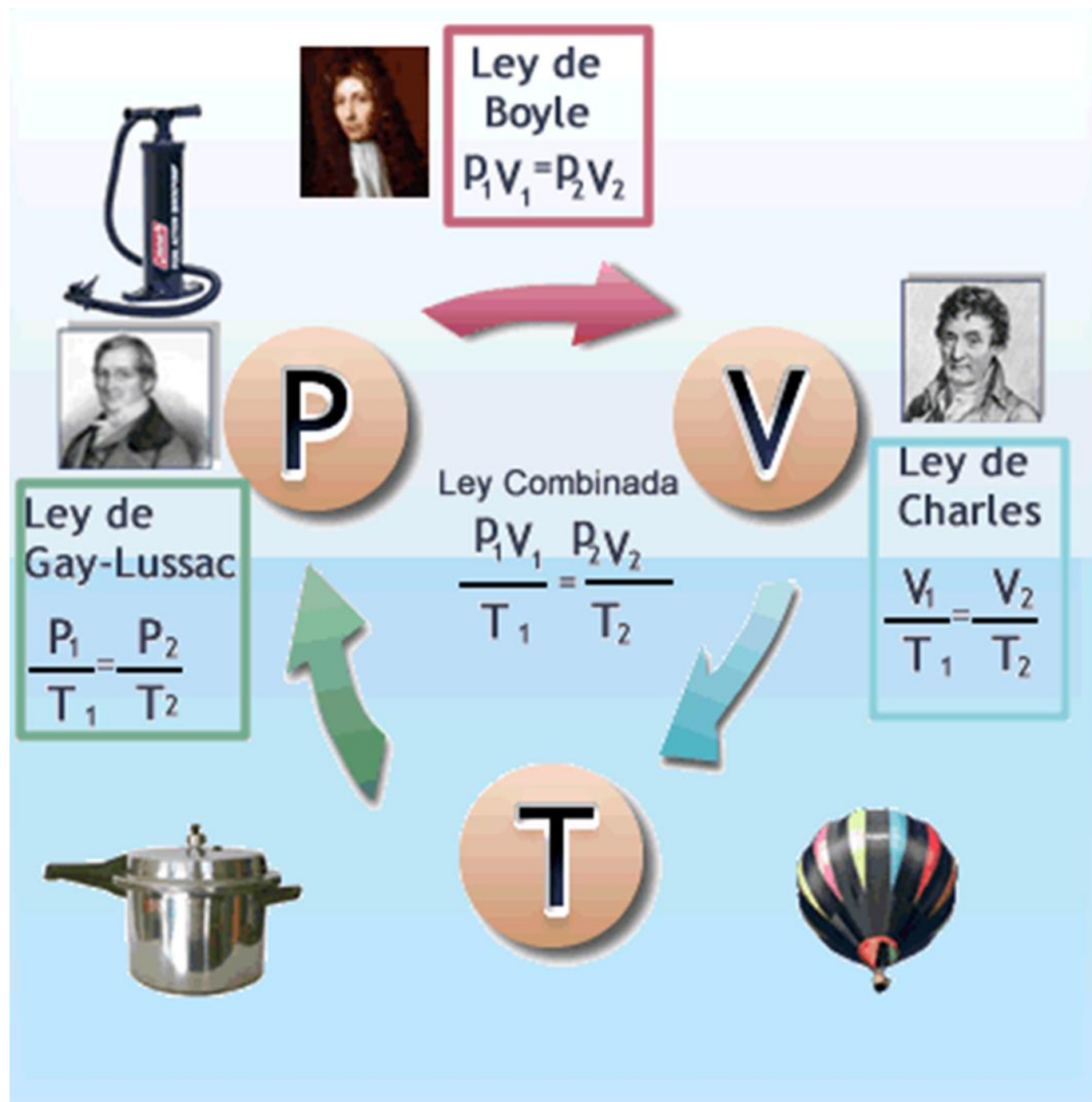
$$\frac{pV}{T} = nR \quad \boxed{= \text{constante}}$$

Estado 1

Estado 2

Estado 3

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_3 V_3}{T_3} = \dots$$

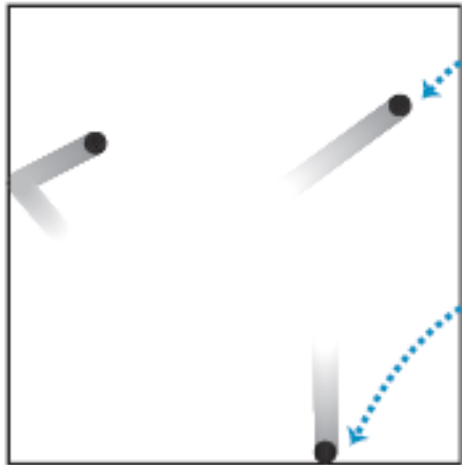


Interpretación molecular de presión y temperatura: energía interna

Propiedades moleculares

3

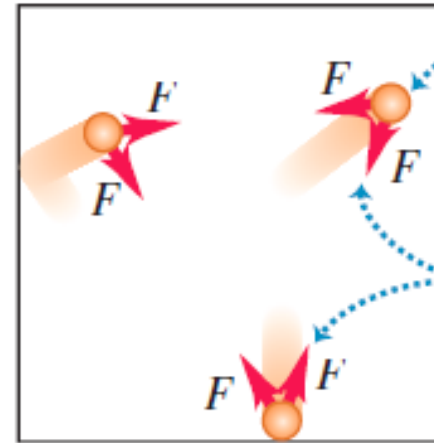
a) Modelo idealizado de un gas



Las moléculas de gas son infinitamente pequeñas.

Ejercen fuerzas sobre las paredes del recipiente, pero no entre sí.

b) Un modelo más realista de un gas



Las moléculas de gas tienen volumen, lo cual reduce el volumen en el que se pueden mover.

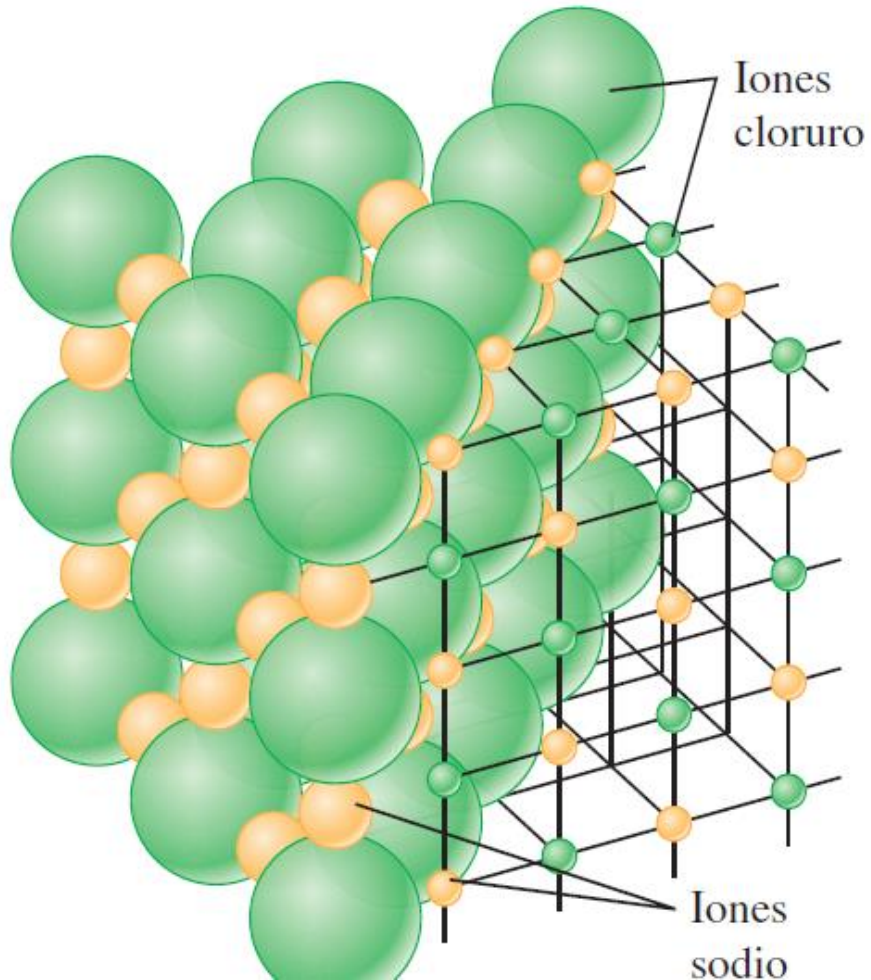
Ejercen fuerzas de atracción entre sí, lo que reduce la presión...

... y ejercen fuerzas sobre las paredes del recipiente.

Propiedades moleculares

3

18.9 Representación esquemática de la estructura cristalina cúbica del cloruro de sodio (sal de mesa).



Bajas temperaturas



Fase sólida

Media-Alta temperatura



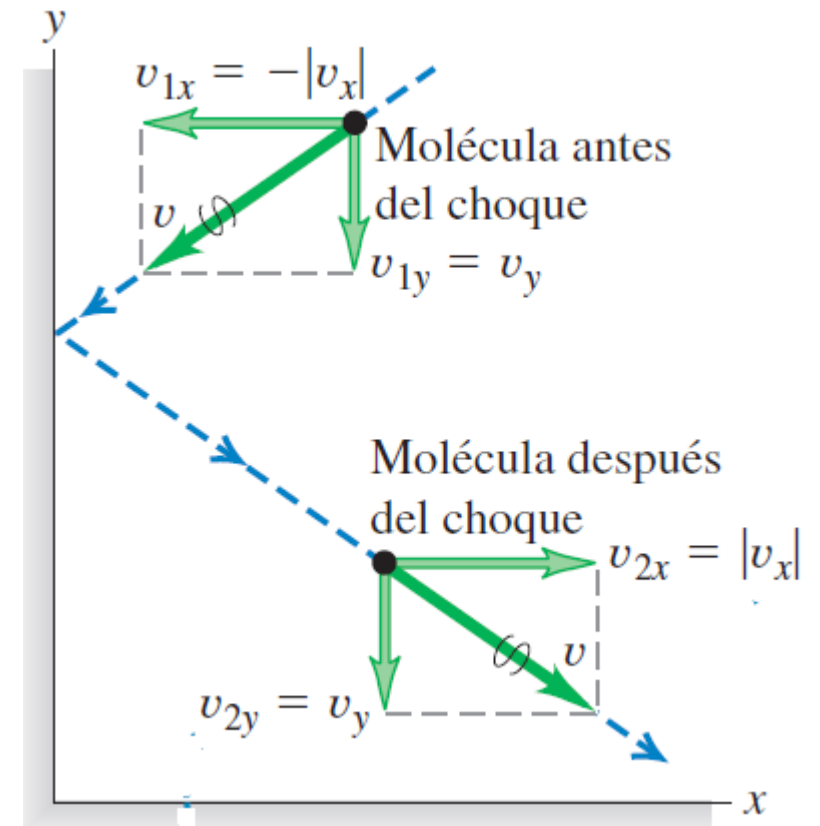
Fase líquida y gaseosa

Energía cinética molecular creciente

Temperatura \leftrightarrow Energía cinética molecular

Modelo cinético molecular del gas ideal

1. Un recipiente con volumen V contiene un número muy grande N de moléculas idénticas, cada una con masa m .
2. Las moléculas se comportan como partículas puntuales; su tamaño es pequeño en comparación con la distancia media entre partículas y las dimensiones del recipiente.
3. Las moléculas están en constante movimiento. Las moléculas chocan ocasionalmente con las paredes del recipiente. Estos choques son perfectamente elásticos.
4. Las paredes del recipiente son perfectamente rígidas y con masa infinita; no se mueven.



Teoría cinética: Presión

1. Número de choques por unidad de tiempo para cierta área de pared A .
2. Cambio de momento lineal total asociado con estos choques
3. Fuerza necesaria para provocar ese cambio.

Momento lineal

Antes: $p_i = -m|v_x|$

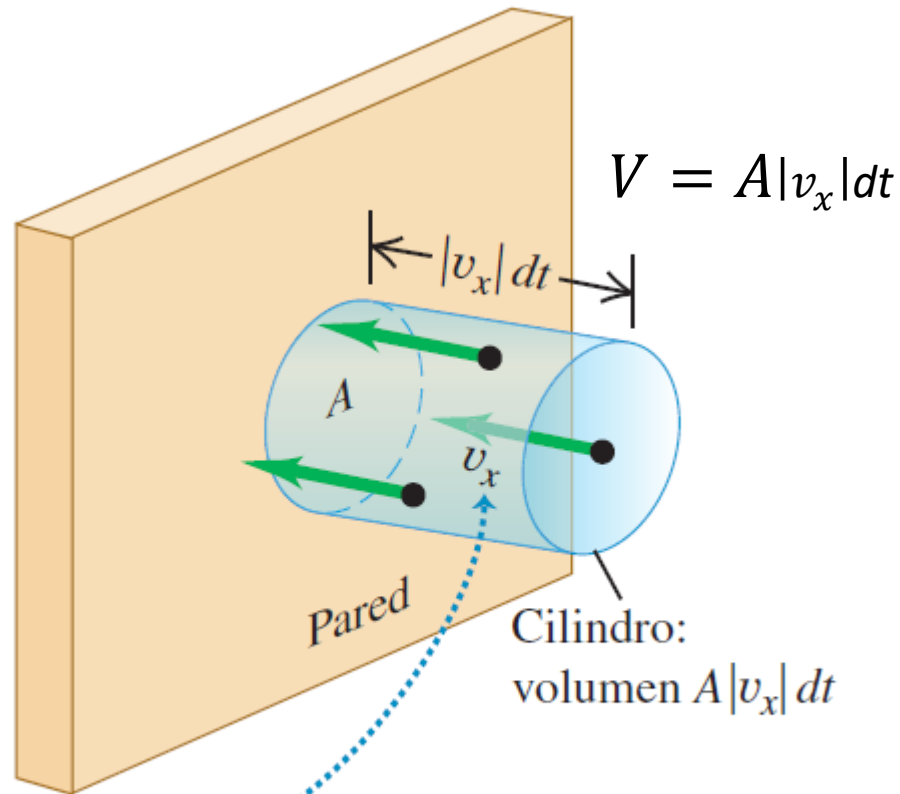
Cambio de p_x

Después: $p_f = m|v_x|$

$$\Delta p_x = 2m|v_x|$$

No. moléculas chocan con A dentro del cilindro imaginario de volumen V :

Por estadística: $\frac{1}{2} N$ entran y $\frac{1}{2} N$ salen



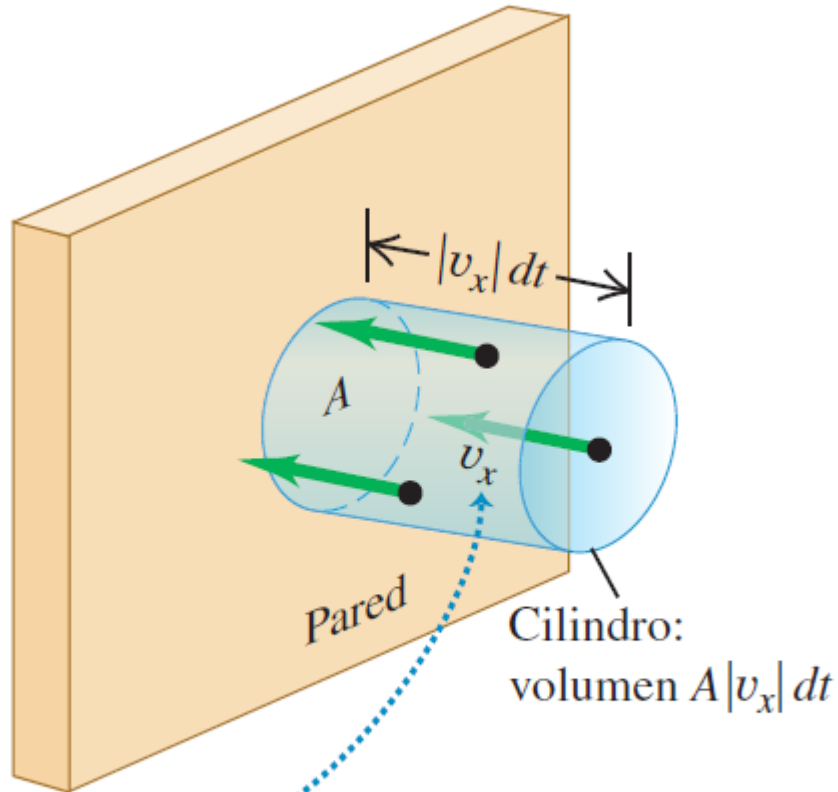
Se supone que todas las moléculas tienen la misma magnitud $|v_x|$ de la velocidad x .

$\frac{N}{V}$ número de moléculas por unidad de volumen es uniforme:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{N}{V} \right) (A|v_x|dt)$$

Teoría cinética: Presión

1. Número de choques por unidad de tiempo para cierta área de pared A .
2. Cambio de momento lineal total asociado con estos choques
3. Fuerza necesaria para provocar ese cambio.



Se supone que todas las moléculas tienen la misma magnitud $|v_x|$ de la velocidad x .

Cambio de p_x

$$\Delta p_x = 2m|v_x|$$

Número de choques ...

$$\frac{1}{2} \left(\frac{N}{V} \right) (A|v_x|dt)$$

Cambio total del momento lineal

$$dp_x = (\text{\#de choques})(\Delta p_x)$$

$$dp_x = \frac{1}{2} \left(\frac{N}{V} \right) (A|v_x|dt)(2m|v_x|)$$

$$\frac{dp_x}{dt} = \frac{NmA}{V} v_x^2 = F$$

$$\frac{F}{A} = \frac{Nm}{V} v_x^2 = p$$

Demostración alternativa:

<https://youtu.be/20Dpa2vhVm0>

Teoría cinética: Presión y temperatura

$$p = \frac{F}{A} = \frac{Nm}{V} v_x^2 \quad \text{En la dimensión de x}$$

En todo el espacio:

Todas las partículas tienen en promedio la misma velocidad: $\overline{v_x^2}$

No hay una dirección preferente: $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} = 3\overline{v_x^2} \quad \rightarrow \quad \overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$$

$$p = \frac{Nm}{V} \overline{v_x^2} = \frac{Nm}{V} \left(\frac{1}{3} \overline{v^2} \right)$$

Como $\overline{v^2} \neq \bar{v}^2 \rightarrow$ No se puede despejar

Rapidez eficaz: $v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}}$

$$p = \frac{\rho}{3} \overline{v^2}$$

$$\overline{v^2} = \frac{3p}{\rho}$$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}$$

Teoría cinética: Presión y temperatura

Energía cinética de traslación de una molécula

$$K_{tr} = \frac{1}{2} m \overline{v^2}$$

$$p = \frac{Nm}{V} \left(\frac{1}{3} \overline{v^2} \right) = \frac{2N}{3V} \left(\frac{1}{2} m \overline{v^2} \right) = \frac{2N}{3V} (K_{tr})$$

$$pV = \frac{2}{3} N K_{tr}$$

Por molécula:

$$pV = \frac{2}{3} N K_{tr} = N k T$$

$$\boxed{K_{tr} = \frac{3}{2} k T} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} \rightarrow \boxed{v_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}}$$

Rapidez eficaz:

$$v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}}$$

de moléculas:

$$N = n N_A$$

Masa molar:

$$M = m N_A$$

Donde m es la masa de una molécula

Por mol:

$$pV = \frac{2}{3} N K_{tr} = n R T$$

$$K_{tr} = \frac{3}{2} \frac{n}{N} R T = \frac{3}{2} \frac{R T}{N_A}$$

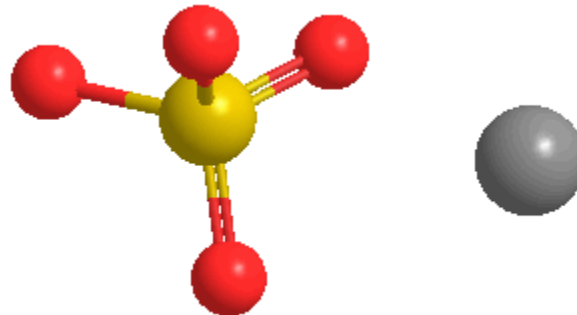
$$\frac{1}{2} m N_A \overline{v^2} = \frac{3 R T}{2}$$

$$\frac{1}{2} M \overline{v^2} = \frac{3 R T}{2}$$

$$\rightarrow \boxed{v_{rms} = \sqrt{\frac{3 R T}{M_{32}}}}$$

¿Qué es la energía interna de un sistema?

Atómico o molecular



$$K + U$$

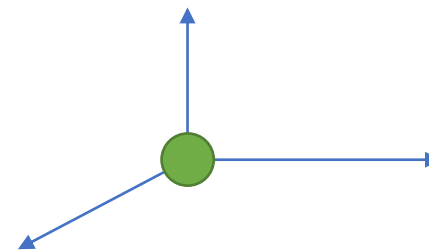
Teorema de la equipartición de la energía

Cada grado de libertad aporta $\frac{1}{2}kT$ a la energía de un sistema, donde posibles grados de libertad son aquellos asociados con la traslación, rotación y vibración de las moléculas.

moléculas

Grado de libertad: se refiere a un medio independiente por el que una molécula puede tener energía.

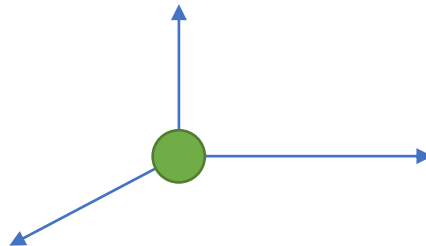
$$\frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT$$



Maxwell

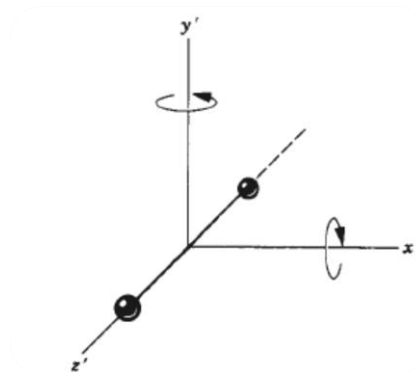
Energía interna

Gas monoatómico



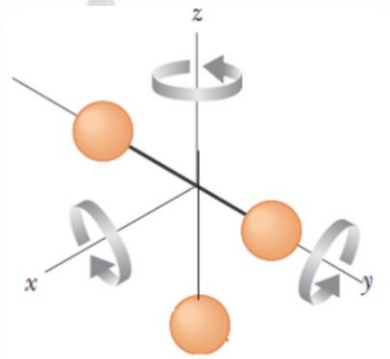
$$E_{\text{int}} = N\left(\frac{3}{2} kT\right) = \frac{3}{2} nRT$$

Gas diatómico



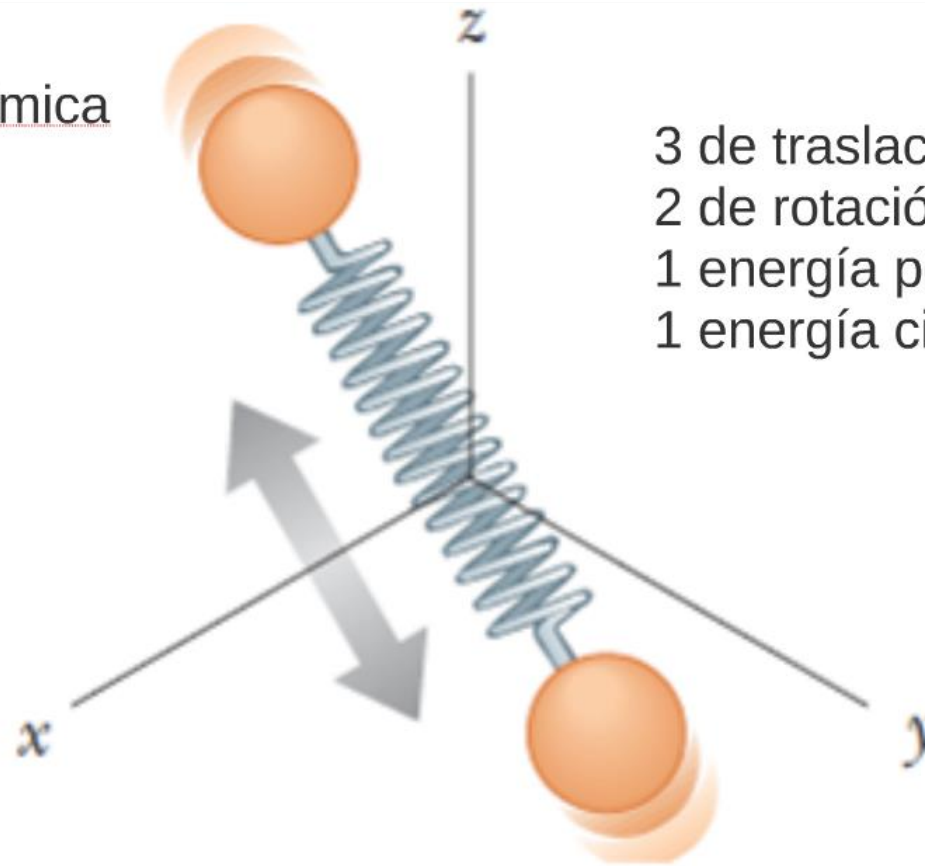
$$E_{\text{int}} = N\left(\frac{5}{2} kT\right) = \frac{5}{2} nRT$$

Gas poliatómico



$$E_{\text{int}} = N\left(\frac{6}{2} kT\right) = 3nRT$$

Molécula diatómica



3 de traslación
2 de rotación
1 energía potencial
1 energía cinética vibratoria

$$E_{\text{int}} = \frac{7}{2} N k_B T = \frac{7}{2} n R T$$

Altas temper

Altas temper

$$E_{\text{int}} = \frac{5}{2} N k_B T = \frac{5}{2} n R T$$

GRACIAS