Universidad Nacional de Río Negro
Física III B – 2020

- **Unidad** 01 –
- **Clase** U01 C02 - 02
- **Fecha** 12 Mar 2019
- **Cont** Teoría Cinética
- **Cátedra** Asorey
- **Web** https://gitlab.com/asoreyh/unrn-f3b

Unidad 1: Calor

Módulo 1 - Unidad 1: Calor
Del 10/Mar al 26/Mar (5 encuentros)

- El calor. Gases ideales y reales. Energía interna. Calorimetría. Calor específico. Teoría cinética de los gases. Temperatura: concepto macroscópico y microscópico. Cambios de fase y calor latente

- **Termodinámica:**

  *(del griego θερμο-, termo, que significa **calor** y δύναμις, dínamis, que significa **fuerza**)*

parte de la **Física** que describe
estados de equilibrio a nivel macroscópico.

¿Qué es el calor?

- Entre todos:
  - Es una forma de **energía**
  - Está relacionado con la **transferencia** de energía
  - “**flujo**” de calor → concepto antiguo: “**calórico**”
  - Sin acciones externas, el calor se transfiere (*fluye*) de un objeto “**caliente**” a un objeto “**frío**”
- Entonces:
  - La transferencia de **calor** (**energía**) se produce sólo cuando hay una **diferencia de temperatura** entre los objetos
- Pero entonces ¿qué es la **temperatura**? →

¿Qué es la temperatura?

- Entre todos:
  - Hay características de un cuerpo que dependen de la cantidad de calor → **propiedades termométricas**
  - Si entre dos objetos no hay transferencia de calor, están en en **equilibrio térmico**
  - Magnitud **comparativa →**
- **Dos objetos que están en equilibrio térmico están a la misma temperatura**.
  - Luego, si entre dos objetos hay transferencia de calor → no están en equilibrio térmico → los objetos están a **diferente temperatura**

Principio Cero de la Termodinámica

- **Principio** → es una **regla** que cuyo cumplimiento **se verifica experimentalmente** y que **aún** no ha podido **refutarse,** pero tampoco probarse
- **Principio cero:**

Si dos objetos están en equilibrio térmico con un tercer objeto, entonces los tres están en equilibrio térmico entre sí.

- Esta definición → **escala de temperaturas**

Escalas de temperaturas

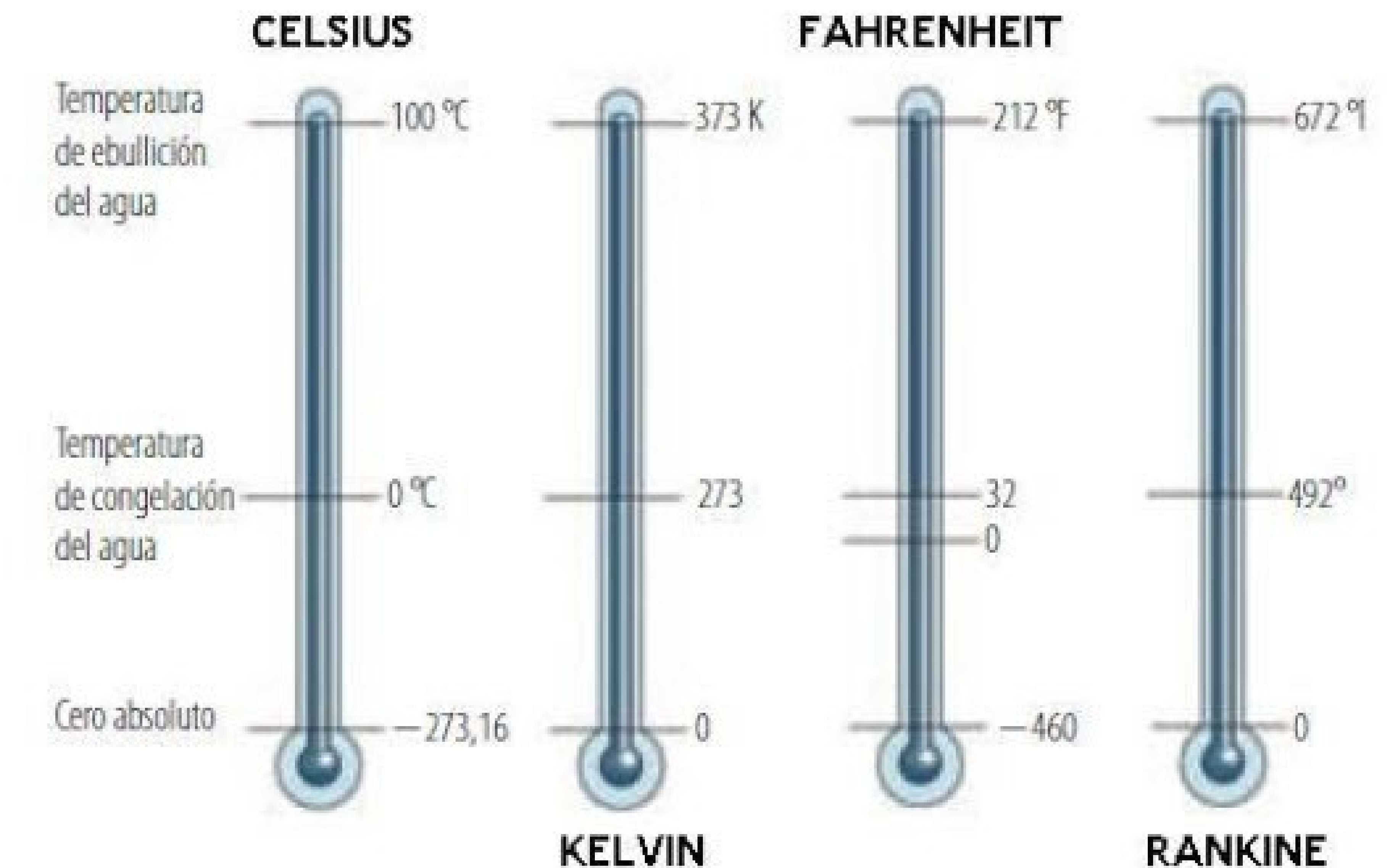
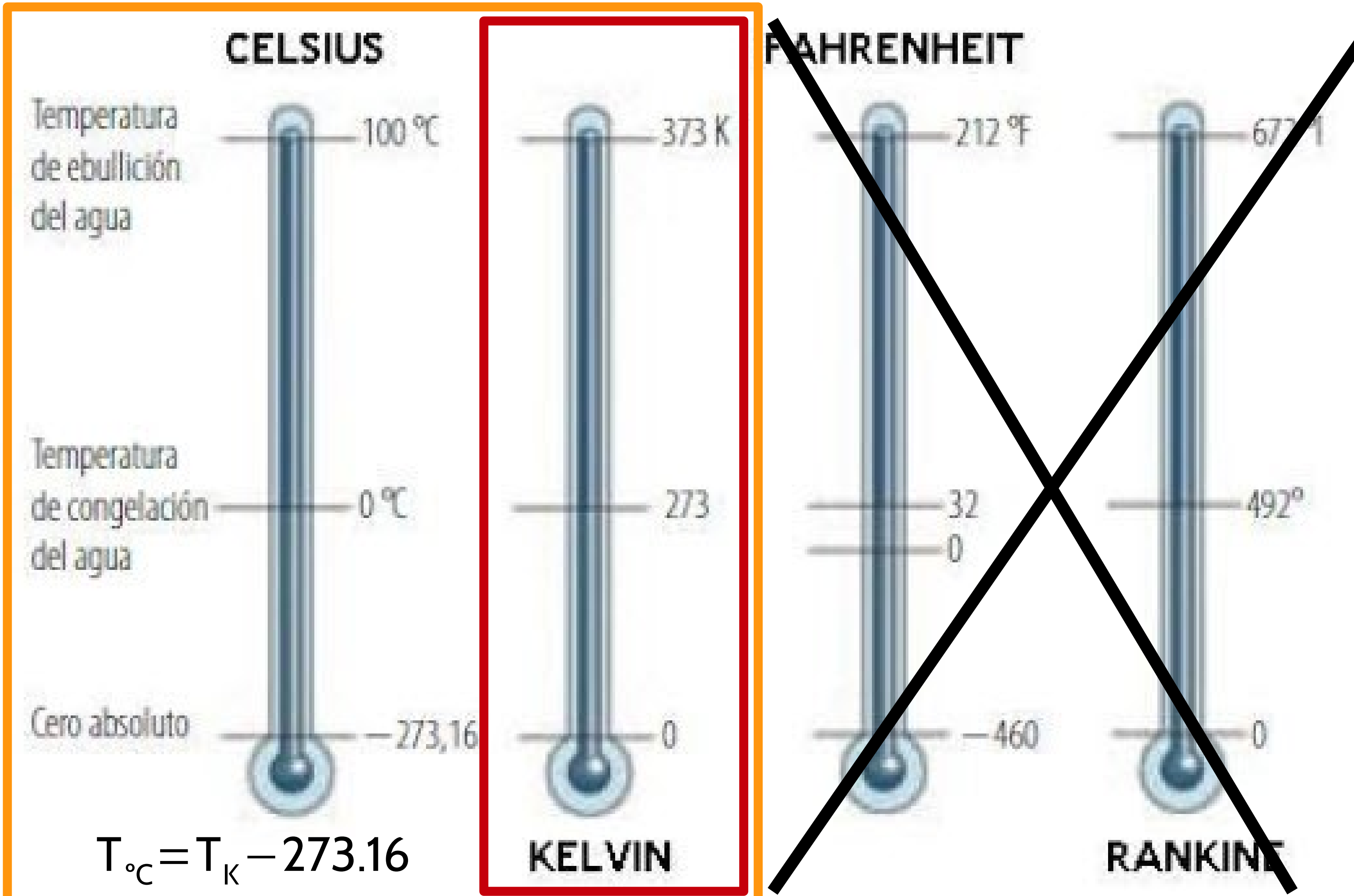


Imagen tomada de http://www.quimicafisica.com/escalas-de-temperatura.html

Escalas de temperaturas
Kelvin (siempre), Celsius (a veces)



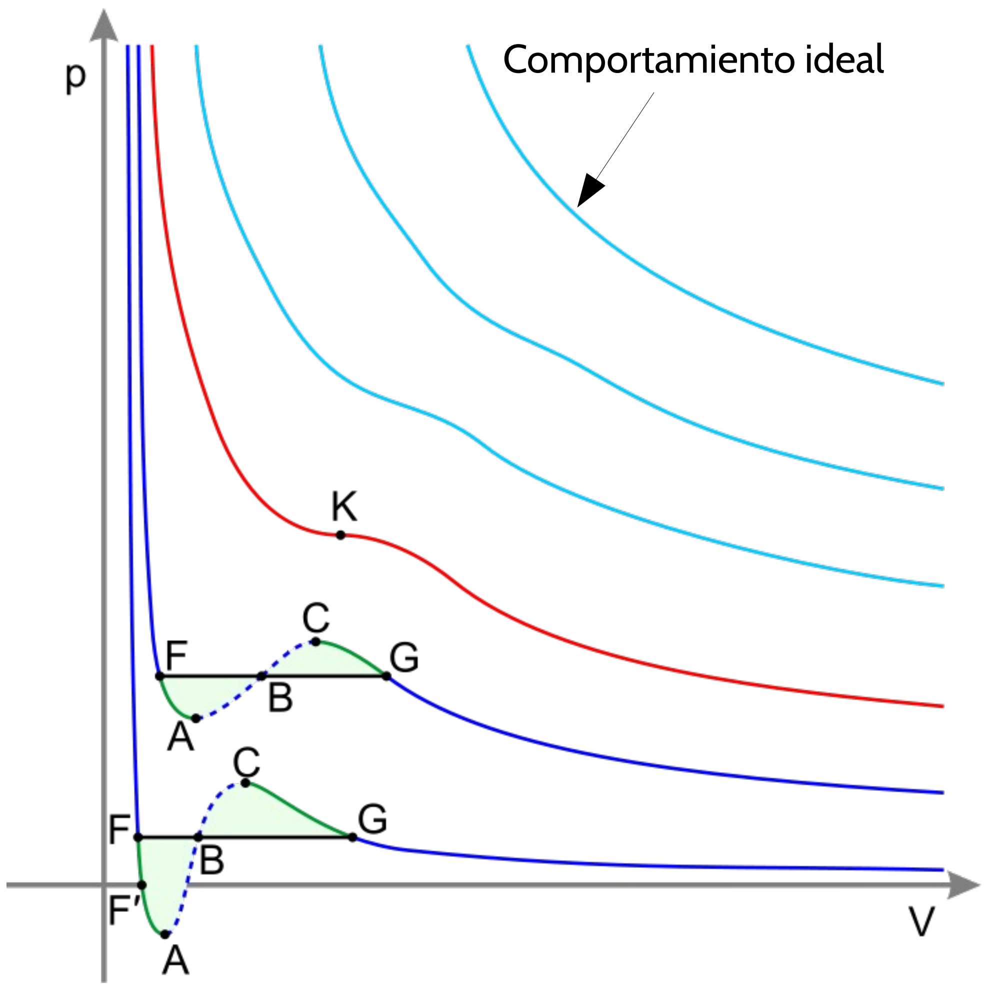
$T_{°C} = T_K - 273.16$

¿Gas ideal?

Gas ideal

- **Gas**: estado de agregación de la materia en el cuál sus constituyentes **interactúan muy débilmente** y **no forman enlaces** entre sí
- Un **gas ideal** es una **construccion teórica** (mencionen otras). Según este **modelo**:
  - Las **partículas** que lo forman son **puntuales** (volumen despreciable)
  - Las partículas no interactúan entre sí, salvo a través de **choques elásticos**
- Hay **sistemas físicos reales** que se asemejan al comportamiento idealizado de un gas ideal

- Átomos y moléculas con interacción entre si (pero de corta distancia) → **Fuerzas de Van der Waals**
  - Monoatómicos: nobles, He, Ar,...
  - Diatómicos: H_2, O_2, N_2,...
  - Triatómicos: CO_2, H_2O(*)
  - Complejos: NH_3
- Mejor aproximación: **gases monoatómicos en condiciones de baja presión y temperatura (baja densidad)**



Algunos números

- Radio H_2: 0,74A
- ¿Volumen de la molécula?
- ¿Mol de moléculas?
- Volumen molar de un gas CNPT
- ¿Fracción ocupada por las moléculas del gas?

Algunos números

- Radio H_2: 0,74A
- ¿Volumen de la molécula?
- ¿Mol de moléculas?
- Volumen molar de un gas CNPT
- ¿Fracción ocupada por las moléculas del gas?

10^{-5}

~ 1 mL en un balde de 20L

Volumen molecular: Supongo esfera. $r = 0.74\,\text{Å}$

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$\Rightarrow V_{H_2} = \frac{4}{3}\pi \left(7,4\times10^{-11}\,m\right)^3 = 1.7\,\text{Å}^3$$

$$\boxed{V_{H_2} = 1.7\times10^{-30}\,m^3}$$

$$1\,mol = 6,022\times10^{23}\text{ moléculas}$$

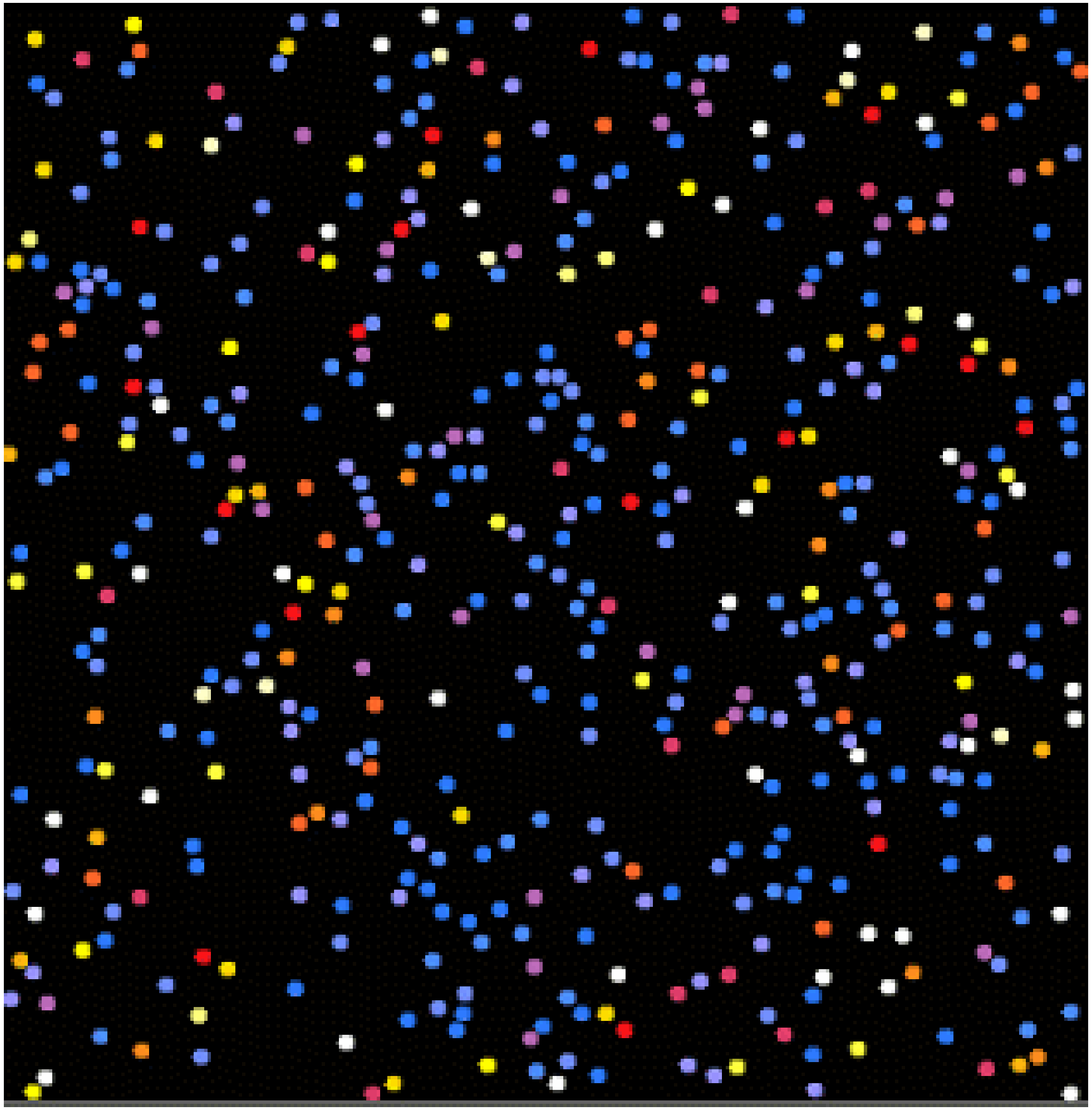
$$\Rightarrow V_{mol} = 1.02\times10^{-6}\,m^3 \simeq 1\,mL$$

Volumen 1 mol de gas H_2 = 22,4 L (CNPT)

$$\Rightarrow \text{fracción} = \frac{V_{mol}}{V_{molar}} = \frac{1.02\times10^{-6}\,\cancel{m^3}}{0.0224\,\cancel{m^3}}$$

$$\Rightarrow \boxed{\text{fracción} = 4.6\times10^{-5}}$$

Así se vería un gas ideal (a muy alta presión)

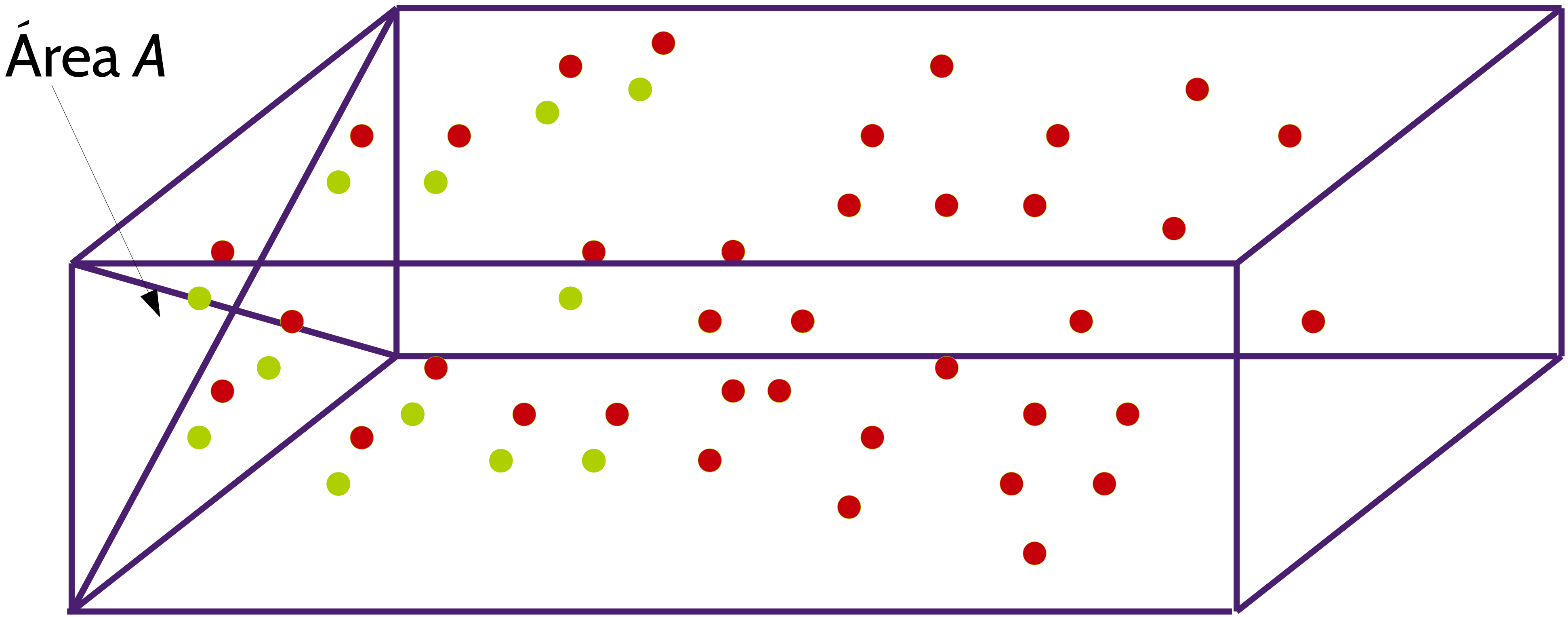


Postulados de la teoría cinética: Gas ideal

- Formado por un **gran número de moléculas idénticas**
- **Separación** media es **grande** respecto a las dimensiones
  - **Volumen despreciable** respecto al volumen contenedor
- Se mueven **aleatoriamente** con **velocidades diferentes**
  - La **velocidad media** de las moléculas es **constante**
- Obedecen las **leyes de Newton**
  - Sólo **interactúan** (entre sí y con el recipiente) a través de **choques elásticos**
- El gas está en **equilibrio térmico** con el recipiente

El modelo de trabajo

- Sean N partículas idénticas de masa *m* en un recipiente de volúmen V



Sobre las velocidades

- Sea el vector velocidad de la molécula *i*-ésima:

$$\vec{v}_i = (v_{i,x}, v_{i,y}, v_{i,z})$$

- El promedio del vector velocidad es **cero** (si no, el centro de masas del sistema se desplaza en la dirección no nula!):

$$\langle v_x \rangle \equiv \frac{1}{N} \sum_i^N v_{i,x} \rightarrow \langle v_x \rangle = 0, \langle v_y \rangle = 0, \langle v_z \rangle = 0$$

- Las velocidades en cada dirección no están relacionadas entre sí

$$\langle v_x v_y \rangle = 0, \langle v_x v_z \rangle = 0, \langle v_y v_z \rangle = 0$$

Luego

- Entonces:

$$\langle \vec{v}^2 \rangle = \langle \vec{v} \cdot \vec{v} \rangle = \langle (v_x, v_y, v_z) \cdot (v_x, v_y, v_z) \rangle$$

$$\langle \vec{v}^2 \rangle = \langle v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \rangle$$

$$\langle \vec{v}^2 \rangle = \langle v_x^2 \rangle + \langle v_y^2 \rangle + \langle v_z^2 \rangle$$

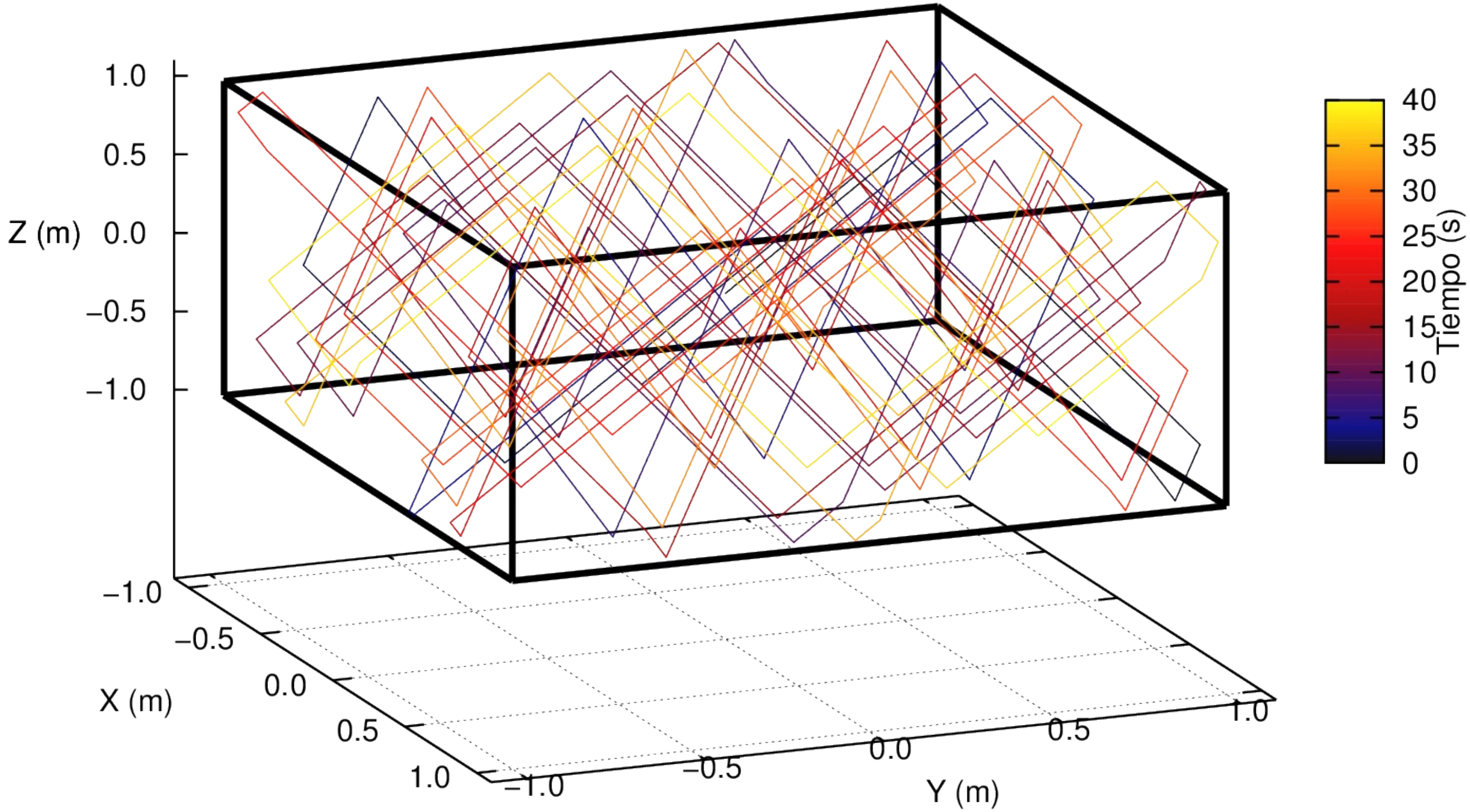
- Y como todas son equivalentes (volveremos)

$$\langle v_x^2 \rangle = \langle v_y^2 \rangle = \langle v_z^2 \rangle$$

- Entonces:

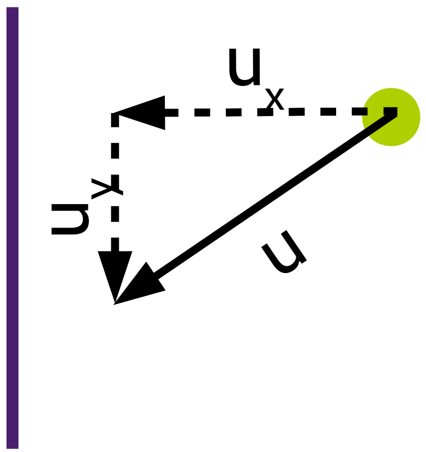
$$\boxed{\langle v^2 \rangle = 3 \langle v_x^2 \rangle}$$

Choques en las paredes del recipiente

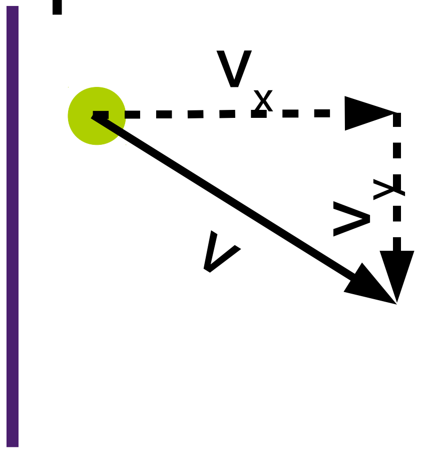


Choques en las paredes del recipiente

Antes del choque



Después del choque



- El choque es elástico. Luego, en el choque con las paredes:
  - en la dirección *y*, $v_y = u_y$
  - en la dirección *x*, $v_x = -u_x$

(¿qué pasa con la conservación de *p* en este caso?)

- El cambio de *p* en la dirección *x*:

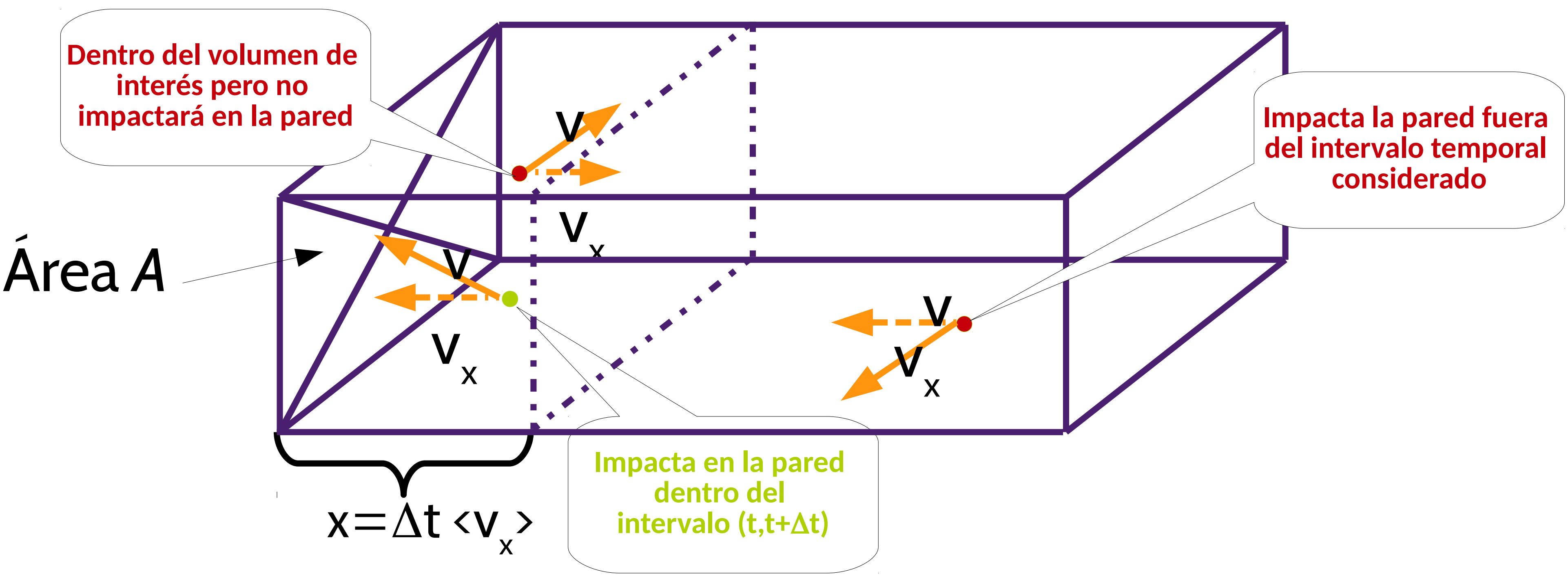
$$\Delta\vec{p} = \Delta p_x = m(v_x - u_x)$$

$$\Delta p = -2 m v_x$$

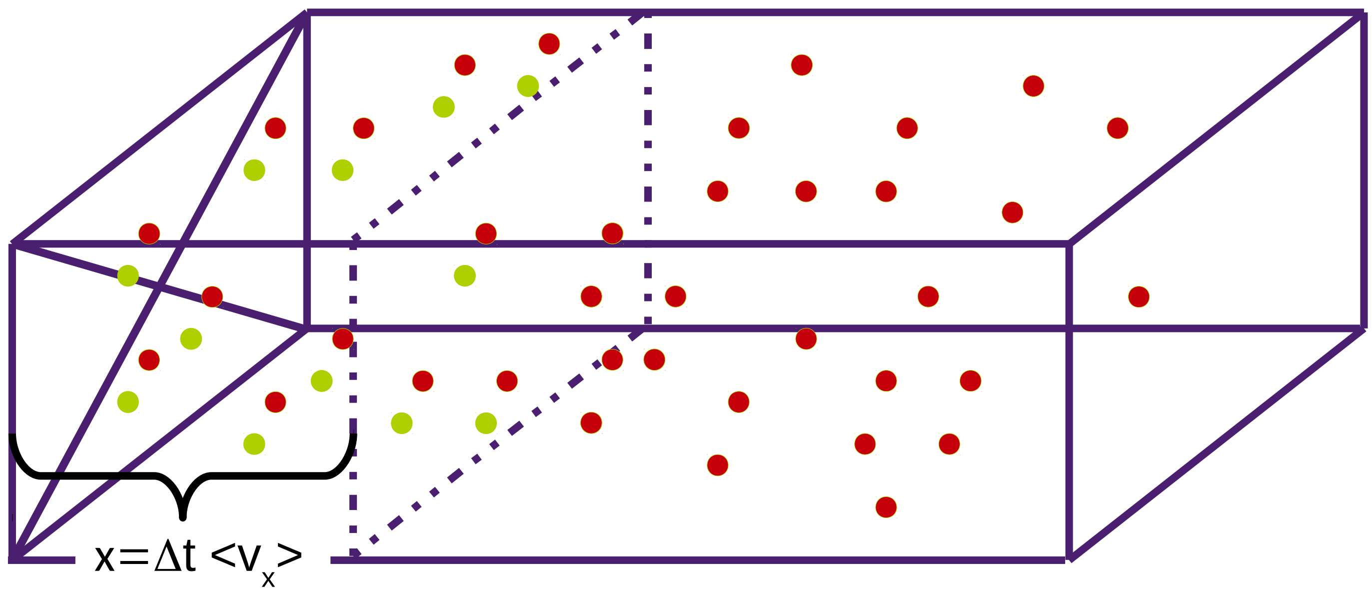
$$\boxed{\rightarrow |(\Delta p)| = 2 m v_x}$$

¿Cuántos choques se producen en la pared en un tiempo Δt?

- En el intervalo Δt, sólo impactarán en la pared *A* aquellas que estén a cierta distancia y en una cierta dirección
  - tres casos posibles



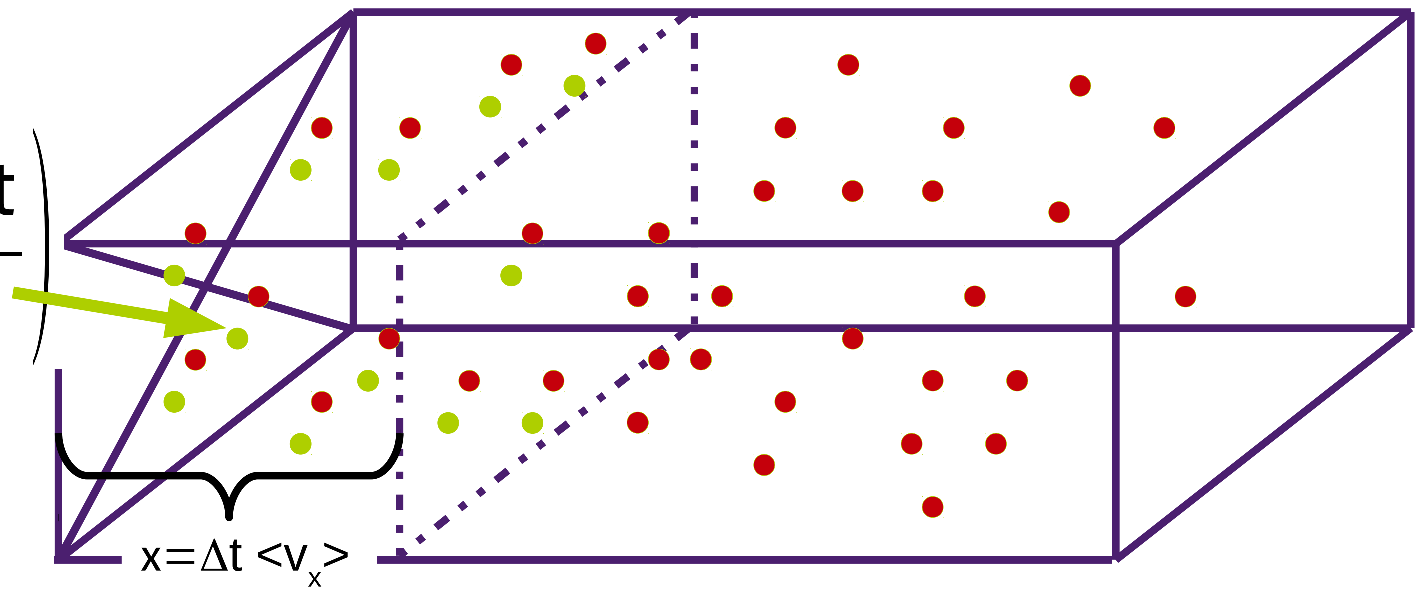
¿Cuántas moléculas golpearán A en Δt?



- Verdes son las de interés: golpearán A en el tiempo Δt
- El volúmen de interés es $V_i = A\,x = A\langle v_x\rangle \Delta t$
- En ese volumen hay $N' = \left(\frac{N}{V}\right) V_i$
- Supongamos la mitad van en dirección a A: $N_i = \left(\frac{N}{V}\right)\left(\frac{V_i}{2}\right)$

¿Cuántas moléculas golpearán A en Δt?

$$N_i = \left(\frac{N}{V}\right)\left(\frac{A\langle v_x\rangle \Delta t}{2}\right)$$



- Verdes son las de interés: golpearán A en el tiempo Δt
- El volúmen de interés es $V_i = A\,x = A\langle v_x\rangle \Delta t$
- En ese volumen hay $N' = \left(\frac{N}{V}\right) V_i$
- Supongamos la mitad van en dirección a A: $N_i = \left(\frac{N}{V}\right)\left(\frac{V_i}{2}\right)$

Cambio total de cant. de movimiento

- En el volumen de interés tengo entonces
- En cada choque "promedio": $\langle \Delta p \rangle = 2m \langle v_x \rangle$
- Luego, en N_i choques el cambio total en la dirección *x*:

$$\Delta p_x = \sum_{j=0}^{N_i} \Delta p_j = \left(\frac{N_i}{N_i}\right)\left(\sum_{j=0}^{N_i} \Delta p_j\right)$$

$$\Delta p_x = N_i \langle \Delta p \rangle$$

- Y entonces

$$\Delta p_x = \left(\frac{N}{V}\right)\left(\frac{A \langle v_x \rangle \Delta t}{2}\right)\left(2m \langle v_x \rangle\right) \rightarrow \boxed{\Delta p_x = \left(\frac{N}{V}\right) m \langle v_x \rangle^2 A \Delta t}$$

Presión en el recipiente

- Y la fuerza sobre la pared A en la dirección x:

$$F_x = \frac{dp_x}{dt} \simeq \frac{\Delta p_x}{\Delta t} \rightarrow F = \frac{N}{V} m \langle v_x^2 \rangle A$$

Notar el cambio: esto es válido porque no hay correlación entre las velocidades en cualquier dirección y entre diferentes partículas

- Y por lo tanto la presión en la pared A, $P_x = F/A \rightarrow$

$$P_x = \frac{N}{V} m \langle v_x^2 \rangle$$

- Todas las paredes son iguales, y dado que: $\langle v^2 \rangle = 3 \langle v_x^2 \rangle$

$$P = \left(\frac{N}{V}\right) \frac{1}{3} m \langle v^2 \rangle \quad \rightarrow \quad P = \frac{2}{3} \left(\frac{N}{V}\right) \underbrace{\left(\frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle\right)}_{\langle E_K \rangle}$$

Entonces

- La presión, hasta aquí:

$$P=\frac{2}{3}\left(\frac{N}{V}\right)\underbrace{\left(\frac{1}{2}m\langle v^2\rangle\right)}_{\langle E_K\rangle}$$

- Reordenando

$$\boxed{\frac{PV}{N}=\left(\frac{2}{3}\langle E_K\rangle\right)}$$

Ecuación de estado microscópica

- O también:

$$\frac{PV}{N}=\text{constante}$$

¿Cómo? ¿¿¿no era PV = n R T???

- La $\langle E_k \rangle$ es "**macroscópicamente inaccesible**"
- Definimos la **temperatura media**

$$\boxed{T \equiv \frac{1}{k_B}\left(\frac{2}{3}\langle E_K \rangle\right)}$$

donde k_B = 1,3806 x 10^{-23} J/K es la constante de Boltzmann.

- La **temperatura media** es una medida de la **energía cinética media** de las partículas del sistema.
- Luego: $\dfrac{PV}{N} = k_b T$
- Y entonces $\boxed{PV = N k_b T}$

Al fin, PV = nRT

- Multiplicando y dividiendo por el Número de Avogadro:

$$PV = \frac{N}{N_A}(N_A k_b) T$$

- N/N_A es el número de moles de gas en el recipiente V, *n*:

$$PV = n(N_A k_b) T$$

- Y al producto (N_A k_B):

$$R \equiv N_A k_b = (6{,}022 \times 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1})(1{,}3806 \times 10^{-23}\, \mathrm{J K}^{-1})$$

$$\boxed{R \equiv N_A k_b = 8{,}314\, \mathrm{J mol}^{-1} \mathrm{K}^{-1}}$$

- Resultando:

$$\boxed{PV = nRT}$$

Ecuación de estado de un gas ideal

De la teoría cinética, obtuvimos

- Ecuación de estado de un gas ideal

$$PV = nRT \qquad R \equiv N_A k_b = 8{,}314\ \mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$$