FISICA 1 (PALEONTOLOGÍA)

2DO CUATRIMESTRE 2020

CLASE 12

RODOLFO SASSOT

CLASE 12: TERMODINAMICA

Temas: Teoría Cinética II, distribución de velocidades moleculares. Movimiento browniano

Teoría Cinética I (clase 8):

~imagen microscópica de los gases, interpretación de variables termodinámicas

velocidad cuadrática media: $v_{rcm} \equiv \sqrt{\overline{v^2}} \quad \sim 400 - 1800\, m/s$

$$p = \frac{1}{3}\rho\, \overline{v^2}$$

$$\frac{3}{2} k_B T = \frac{1}{2} m\, \overline{v^2} \qquad k_B \equiv \frac{R}{N_0}$$ *constante de Boltzmann*

camino libre medio: $\bar{l} \equiv \dfrac{1}{\sqrt{2}\, n_v\, \pi\, d^2} \quad \sim 10^{-5}\, cm$

frecuencia de colisiones: $\dfrac{v}{\bar{l}} \sim 10^9\, s^{-1}$

distribución de velocidades?

de qué depende?

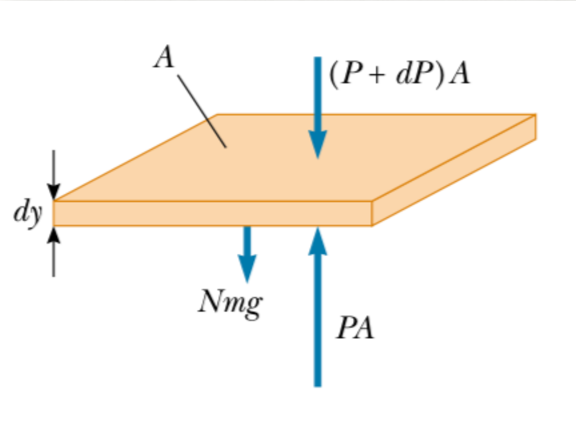
CLASE 12: TERMODINAMICA

ley de las atmósferas: cómo se distribuyen las moléculas en la atmósfera?

~ número de moléculas por unidad de volumen n_v en función de la altura

por simplicidad suponemos:

- T = cte (~1°C c/150 m, 10 km ~ 30% K)
- aire~gas ideal: $p\,V = N\,k_B\,T$



$$n_V \equiv \frac{N}{V} \quad \rightarrow \quad p = n_V\,k_B\,T$$

$$dp = dn_V\,k_B\,T$$

$$p\,A - (p + dp)\,A = m\,g\,N = m\,g\,n_V\,A\,dy$$

$$dp = -\,m\,g\,n_V\,dy$$

$$dn_V\,k_B\,T = -\,m\,g\,n_V\,dy$$

$$\frac{dn_V}{n_V} = -\,\frac{m\,g}{k_B\,T}\,dy$$

$$n_V(y) = n_0\,e^{-\frac{m\,g}{k_B\,T}y} \qquad n_0 = n_V(0) \; = 2.69 \cdot 10^{25}\; mol/m^3$$

Ejemplo: $n(y) = \,?\quad y = 11\,km\quad m = 4.8 \cdot 10^{-26}\,kg$

$$\frac{m\,g}{k_B\,T}\,y = 1.28 \qquad n_V = n_0\,e^{-1.28} = 0.278\,n_0$$

~ 1/4 de las moléculas por unidad de volumen

ley de las atmósferas: cómo se distribuyen las moléculas en la atmósfera?

~ *número de moléculas por unidad de volumen* n_v *en función de la altura*

$$n_V(y) = n_0\, e^{-\frac{m\,g}{k_B T} y} \qquad e^{-\frac{m\,g}{k_B T} y}$$

~ *probabilidad relativa de encontrar una molécula a la altura y*

$$\bar{y} = \frac{\int_0^\infty y\, n_V(y)\, dy}{\int_0^\infty n_V(y)\, dy} = \frac{\int_0^\infty y\, e^{-\frac{mgy}{k_B T}}\, dy}{\int_0^\infty e^{-\frac{mgy}{k_B T}}\, dy} = \frac{k_B T}{m\, g}$$

~ *la altura promedio aumenta con* T

$$U = m\, g\, y \qquad \bar{U} = m\, g\, \bar{y} \quad = k_B T$$

~ *la energía potencial promedio depende sólo de* T *!* *(ni de m ni de g)*

distribución de Boltzmann:

$$n_V(y) = n_0\, e^{-\frac{m\,g}{k_B T} y} = n_0\, e^{-\frac{\bar{U}}{k_B T}}$$

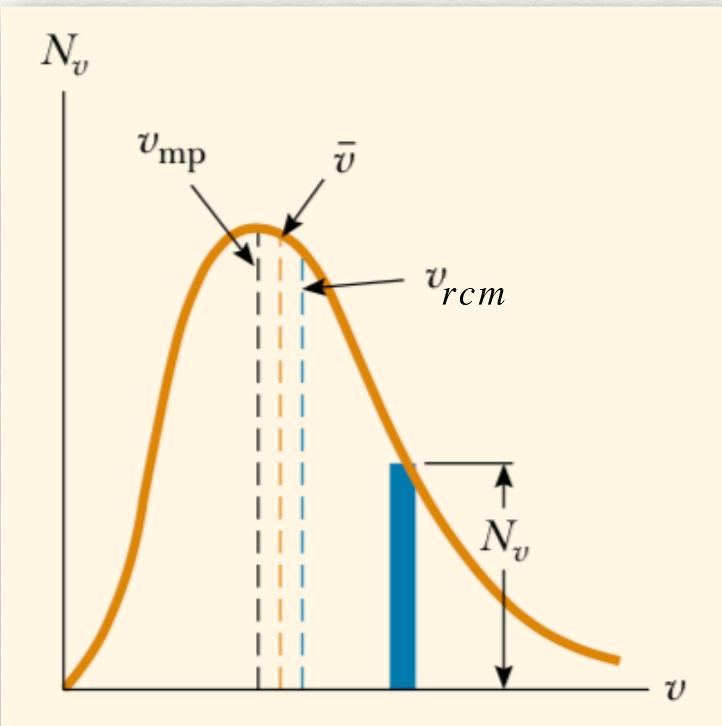
aplica a todo tipo de energía

$$n_V(E) = n_0\, e^{-\frac{E}{k_B T}}$$

~ *probabilidad de encontrar una molécula a una dada* E *decrece como* $e^{-\frac{E}{k_B T}}$

distribución de Maxwell-Boltzmann N_v:

~ cuántas moléculas tengo en un cierto rango de velocidades entre v y $v + dv$



$$\bar{v} = \frac{\int_0^\infty v\, N_v(v)\, dv}{\int_0^\infty N_v(v)\, dv} \qquad v_{rcm} = \sqrt{\frac{\int_0^\infty v^2\, N_v(v)\, dv}{\int_0^\infty N_v(v)\, dv}}$$

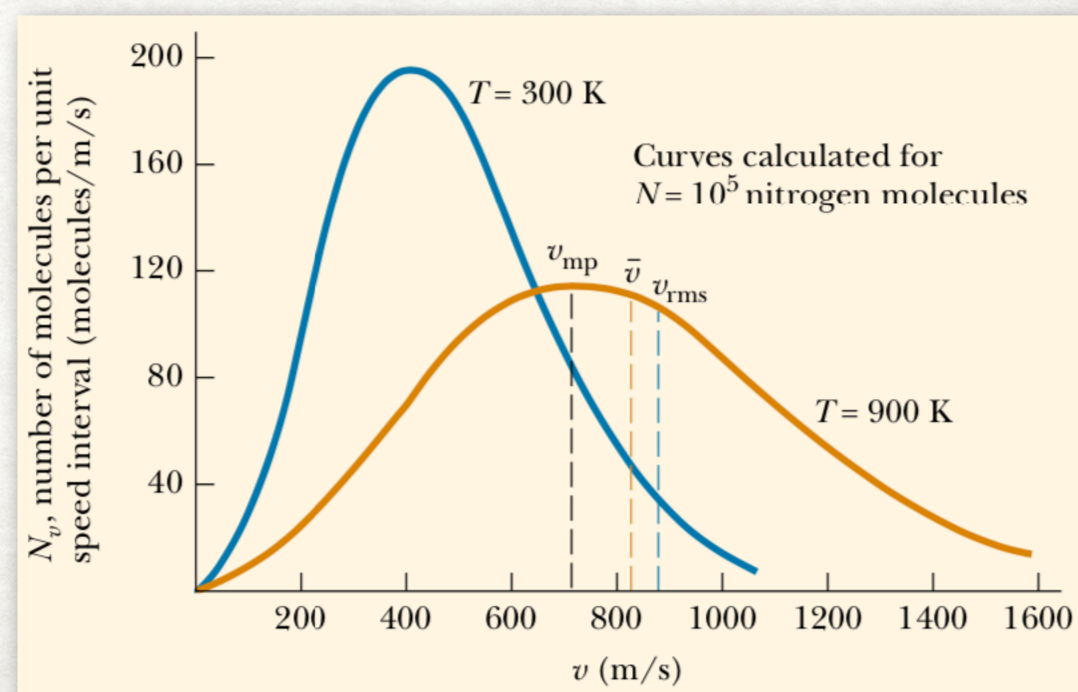
$$N_v = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi k_B T}\right)^{3/2} v^2\, e^{-\frac{m v^2}{2 k_B T}} \qquad \sim e^{-\frac{E}{k_B T}} \quad \text{con} \quad E = \frac{m v^2}{2}$$

(Maxwell 1859)

$$v_{rcm} = 1.73 \sqrt{k_B T/m}$$

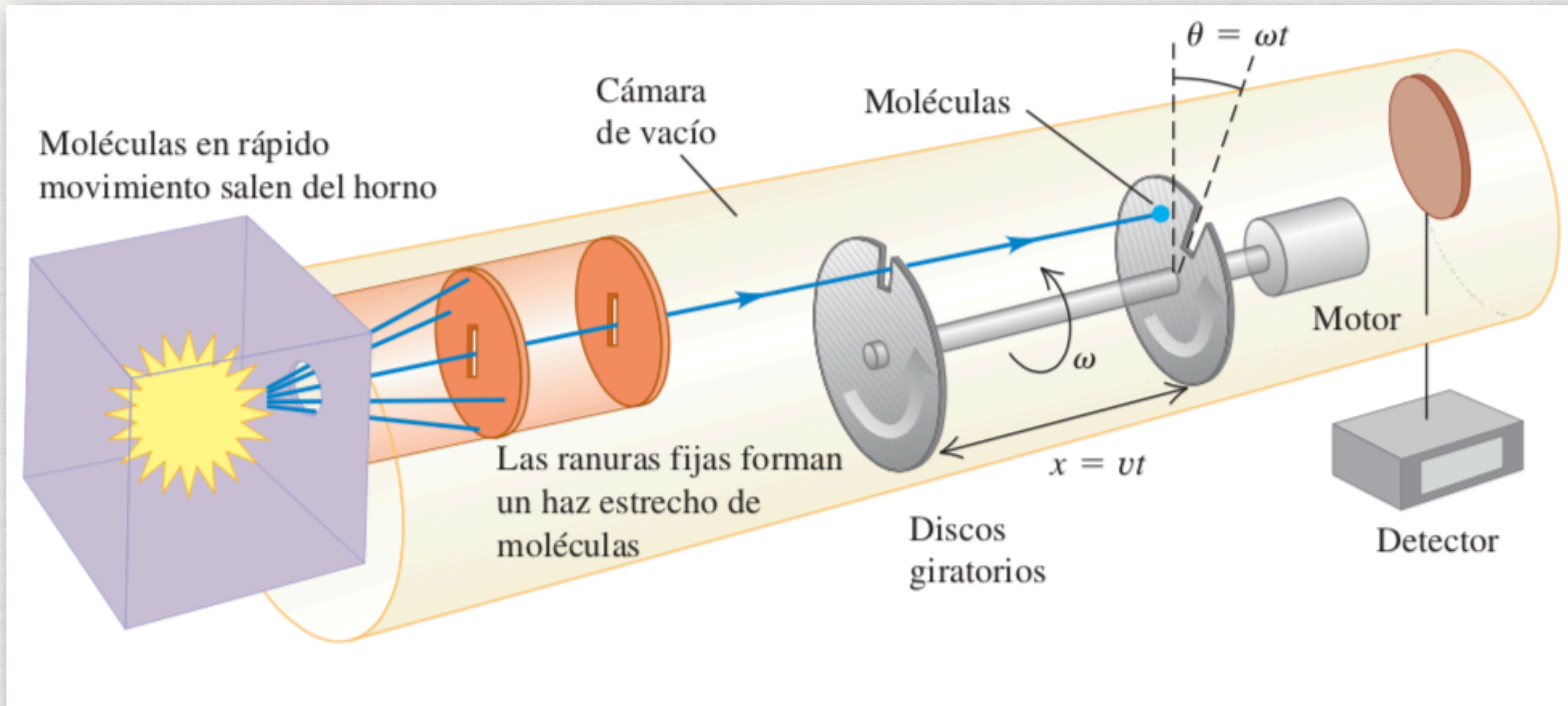
$$\bar{v} = 1.60 \sqrt{k_B T/m} \qquad v_{rcm} > \bar{v} > v_{mp}$$

$$v_{mp} = 1.41 \sqrt{k_B T/m} \qquad \left(v : \frac{dN_v}{dv} = 0\right)$$



CLASE 12: TERMODINAMICA

medición de la distribución de Maxwell-Boltzmann N_v: (1859 $\longrightarrow$ 1920 $\longrightarrow$ 1955)

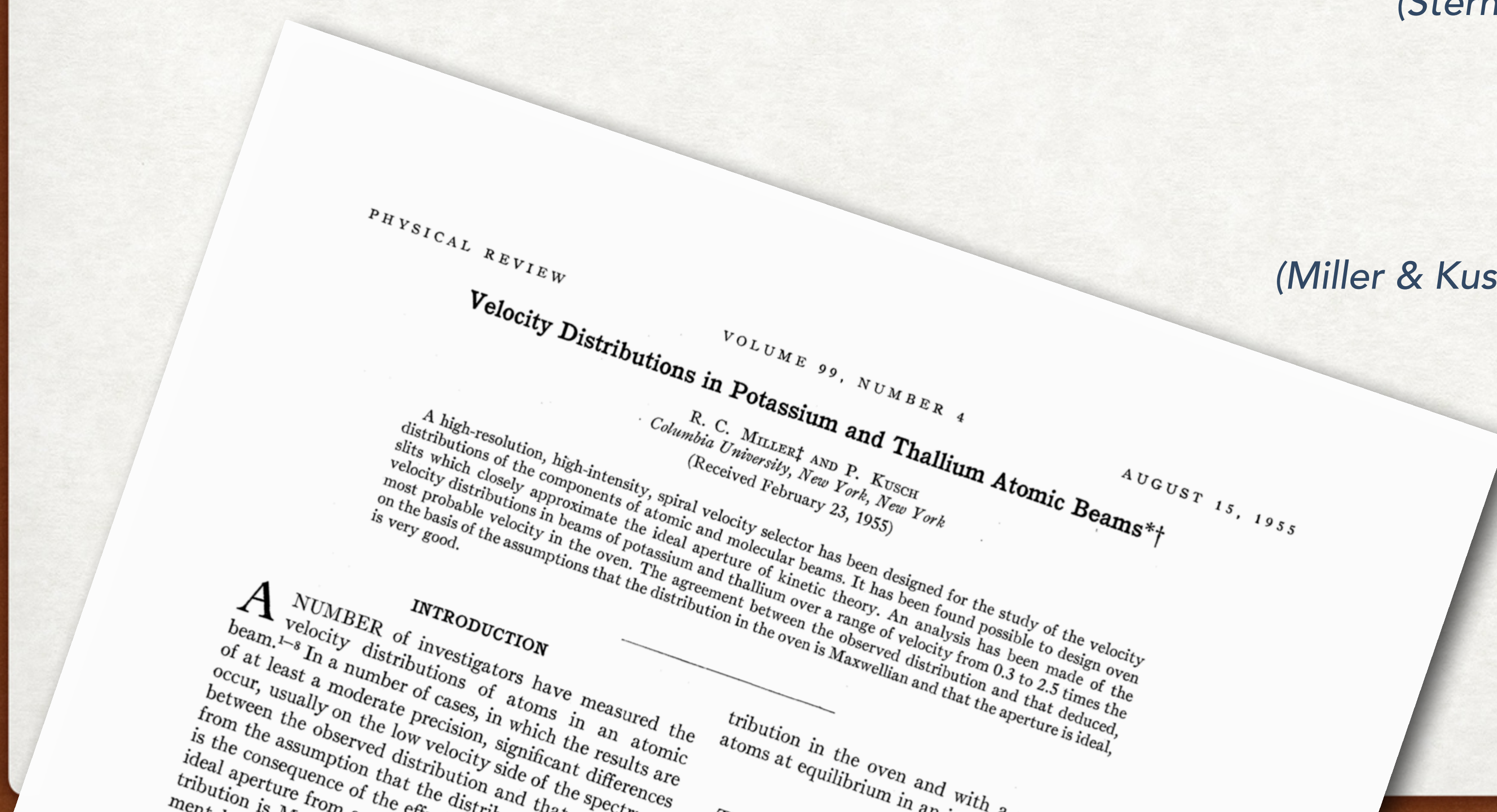


(Stern 1920)

$$x = v\,t \qquad \theta = \omega\,t$$

$$v = x/t = \omega\,x/\theta$$

$$\mathbf{v} = v/v_{mp}$$



PHYSICAL REVIEW — VOLUME 99, NUMBER 4 — AUGUST 15, 1955

Velocity Distributions in Potassium and Thallium Atomic Beams*†

R. C. MILLER‡ AND P. KUSCH
Columbia University, New York, New York
(Received February 23, 1955)

A high-resolution, high-intensity, spiral velocity selector has been designed for the study of the velocity distributions of the components of atomic and molecular beams. It has been found possible to design oven slits which closely approximate the ideal aperture of kinetic theory. An analysis has been made of the velocity distributions in beams of potassium and thallium over a range of velocity from 0.3 to 2.5 times the most probable velocity in the oven. The agreement between the observed distribution and that deduced, on the basis of the assumptions that the distribution in the oven is Maxwellian and that the aperture is ideal, is very good.

INTRODUCTION

A NUMBER of investigators have measured the velocity distributions of atoms in an atomic beam.[1–8] In a number of cases, in which the results are of at least a moderate precision, significant differences occur, usually on the low velocity side of the spectrum, between the observed distribution and that calcu-
from the assumption that the distribution
is the consequence of the effusion
ideal aperture from an ov
tribution is Maxw

tribution in the oven and with a veloci-
atoms at equilibrium in an isoth-

(Miller & Kusch 1955)

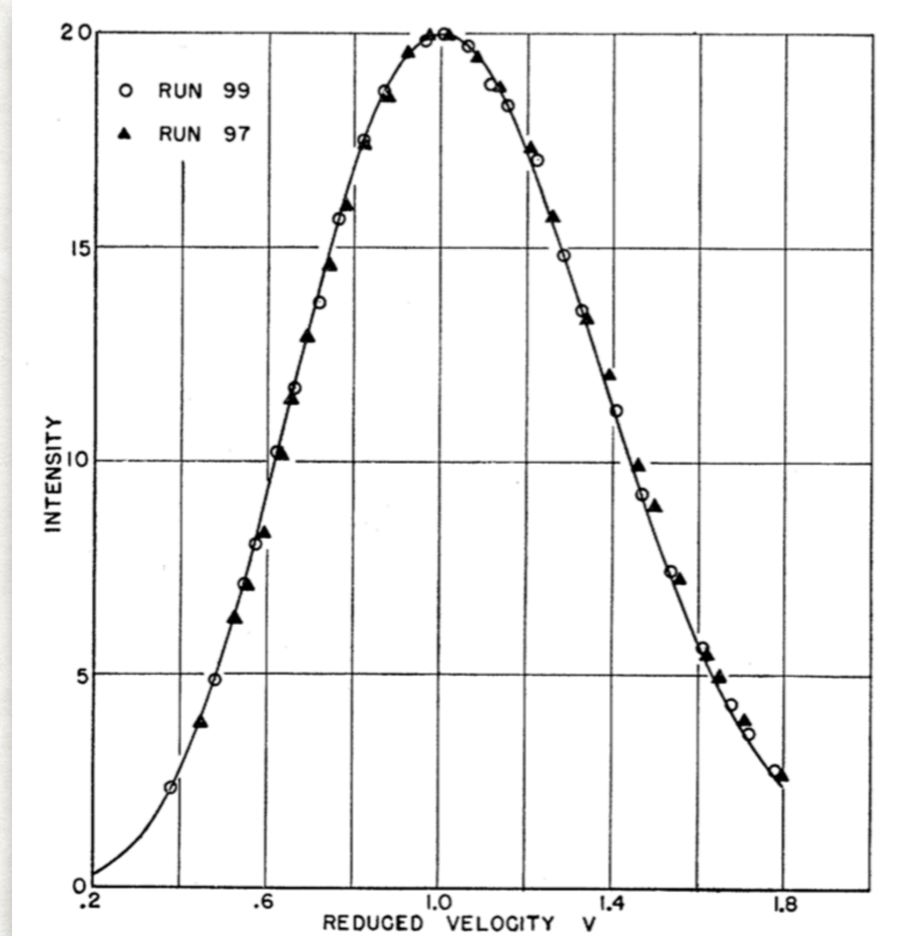


FIG. 5. Typical thallium velocity distributions. The data were taken with thin oven slits at vapor pressures given in Table II.

CLASE 12: TERMODINAMICA

movimiento browniano: el polen suspendido en agua muestra un movimiento caótico continuo

Robert Brown (1827)

una forma de vida? no, porque se observa para otras partículas inorgánicas

Einstein (1905) : interpretación en términos de teoría cinética como impactos de las moléculas

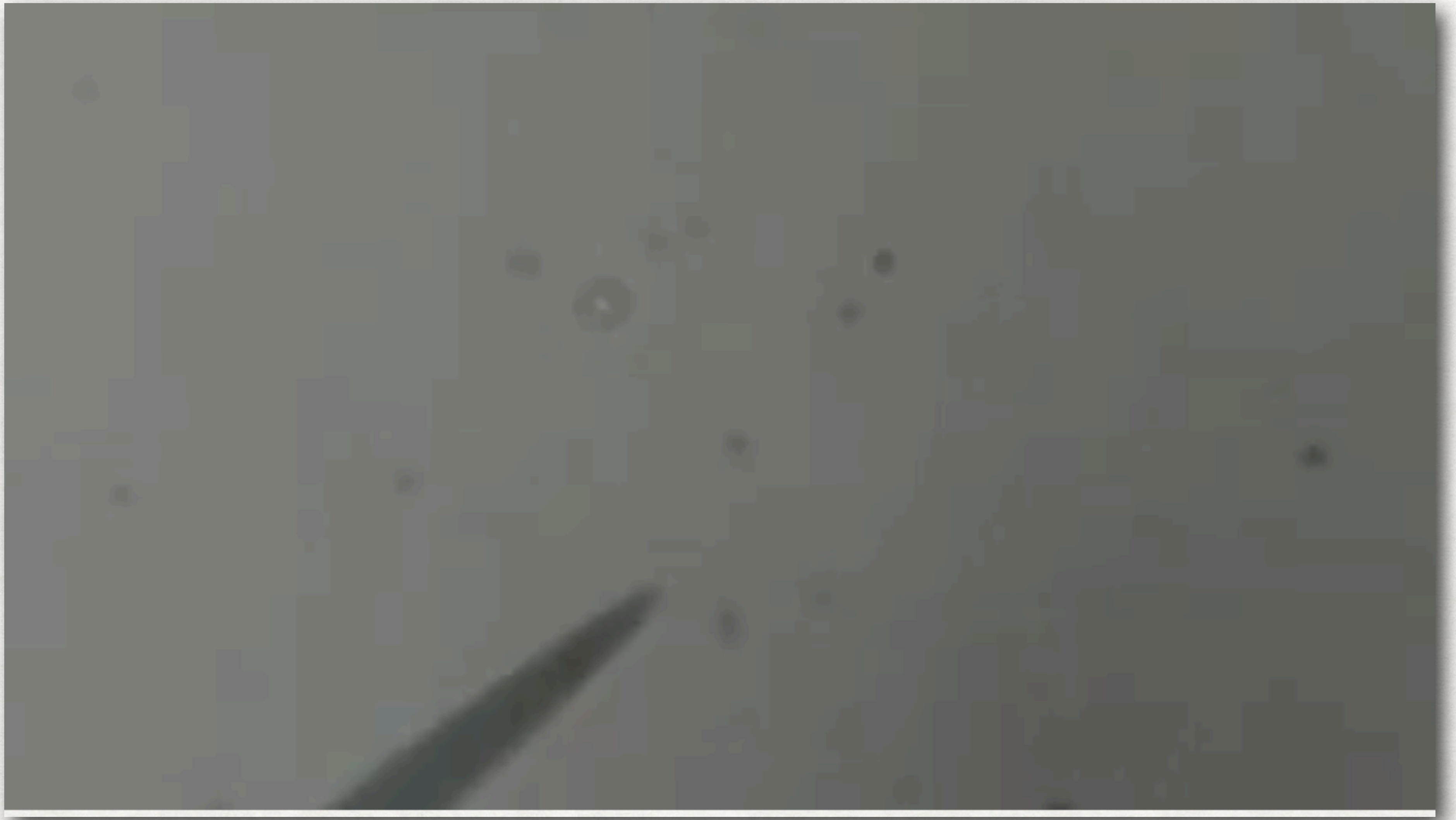
movimiento browniano como medida del número de Avogadro.

esferas poliestireno

$1\,\mu m = 10^{-6}\,m$

agua destilada

$95.84\,pm \sim 10^{-10}\,m$



https://www.youtube.com/watch?v=gPMVaAnij88

CLASE 12: TERMODINAMICA

movimiento browniano: el polen suspendido en agua muestra un movimiento caótico continuo

Robert Brown (1827)

una forma de vida? no, porque se observa para otras partículas inorgánicas

Einstein (1905) : interpretación en términos de teoría cinética como impactos de las moléculas

movimiento browniano como medida del número de Avogadro.

esferas poliestireno

$1\,\mu m = 10^{-6}\,m$

agua destilada

$95.84\,pm \sim 10^{-10}\,m$

https://www.youtube.com/watch?v=gPMVaAnij88