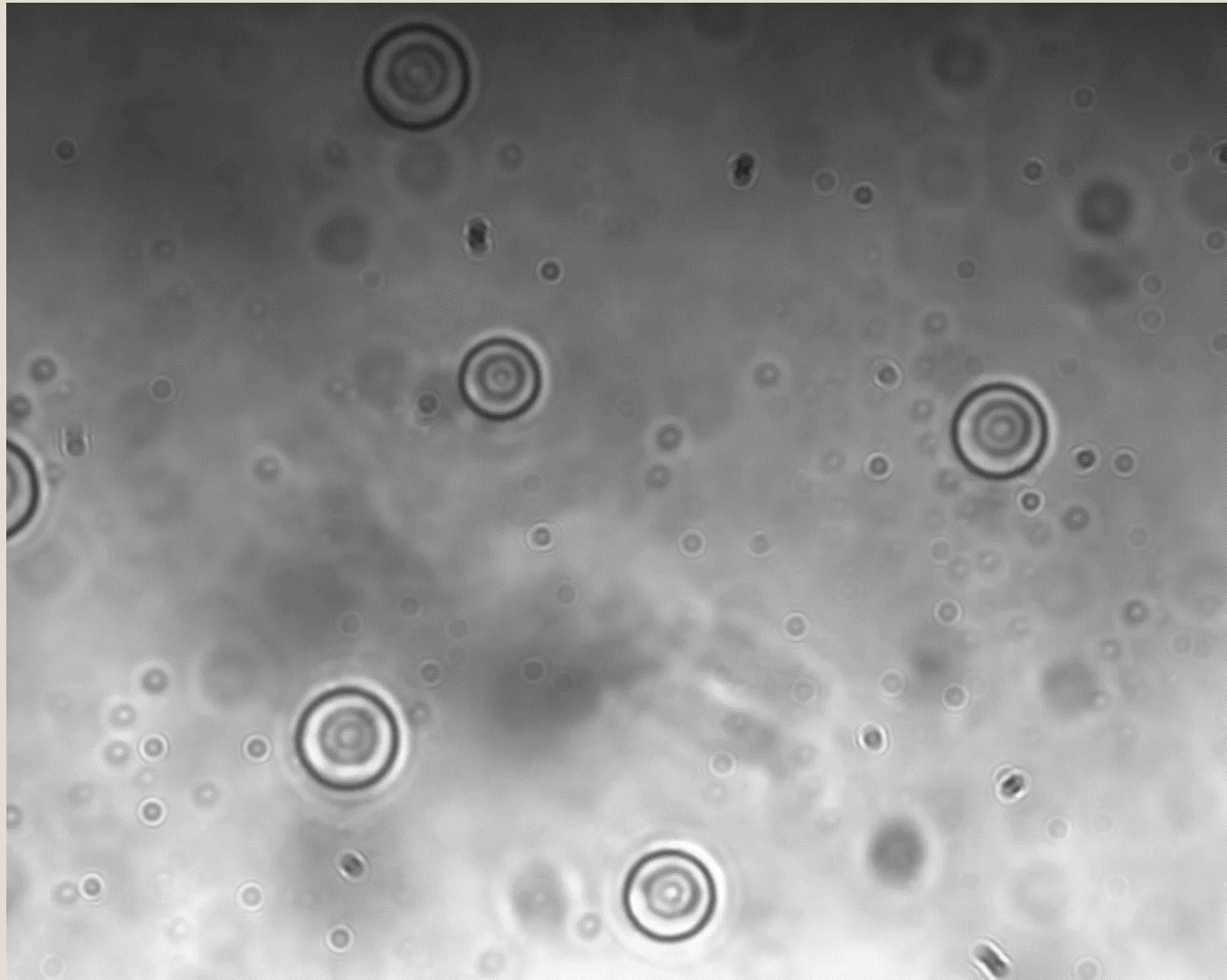








# MOVIMENTO BROWNIANO

**Apresentado pelos brownies:**  
Guilherme, Isabelli, Luís e Santiago

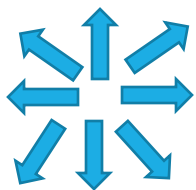
**Agradecimentos:**  
Júlio Oliveira, Ricardo Oliveira  
Joana Teixeira, INESC TEC



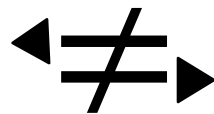
Robert Brown,  
1827

- *Clarkia pulchella*
- Feromonas masculinas?

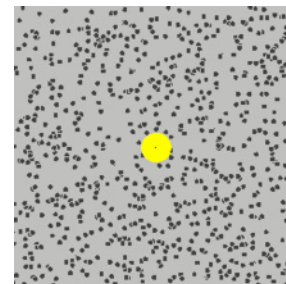
# O QUE PERCEBERAM?



Qualquer direção

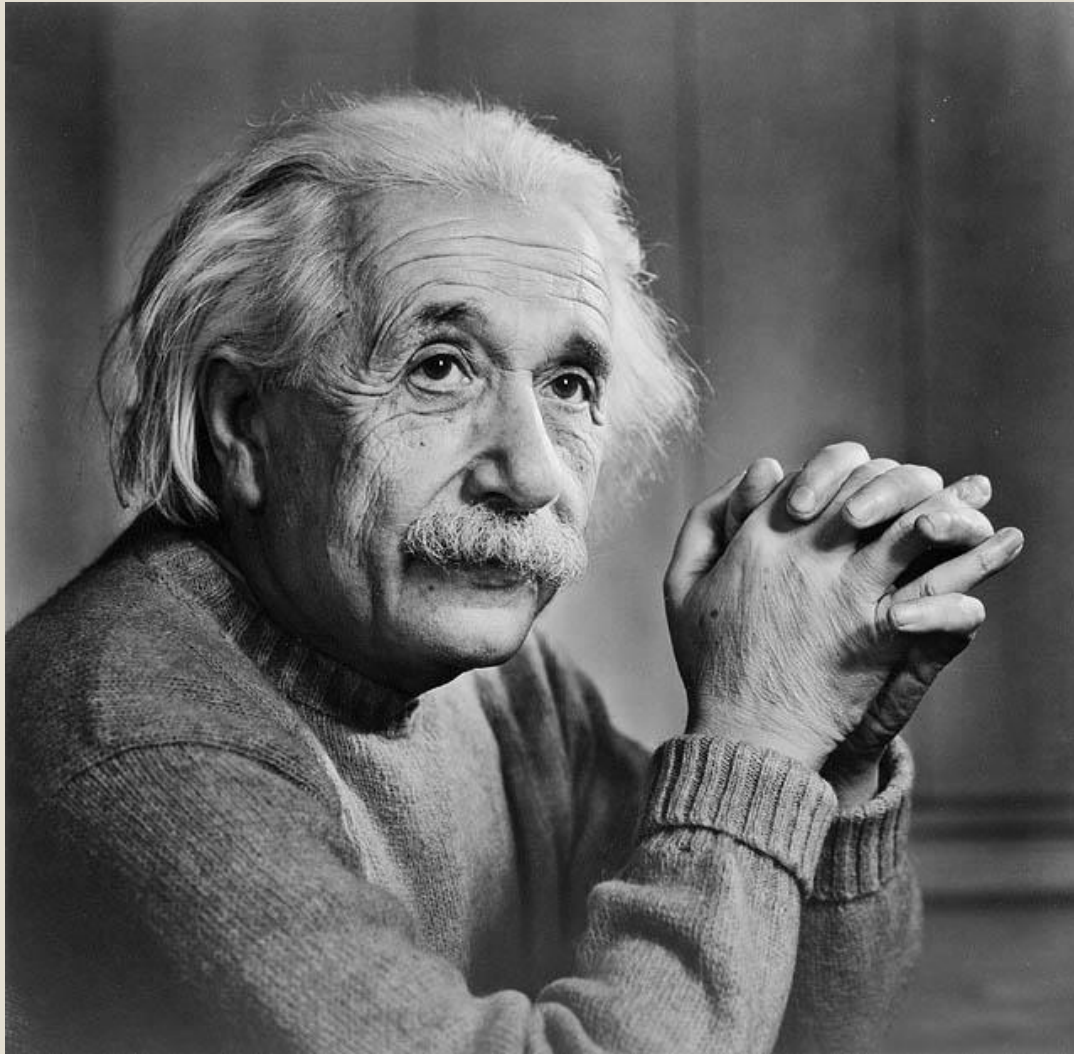


O movimento  
posterior não se  
relaciona com o  
anterior



NUNCA PARA!!!





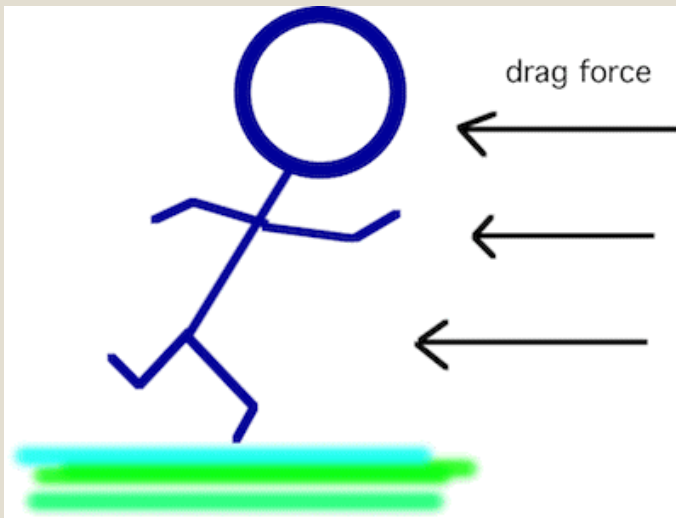
E o Einstein  
entendeu as  
forças em  
jogo!

- Temperatura
- Viscosidade

Quais são as forças envolvidas no movimento browniano?!

## Força De Arrasto

$$F_{arrasto} = -\gamma v$$



## Força de colisão

$$F_{colisão} = \eta(t)$$

$$\bar{F}_{colisão} = 0$$

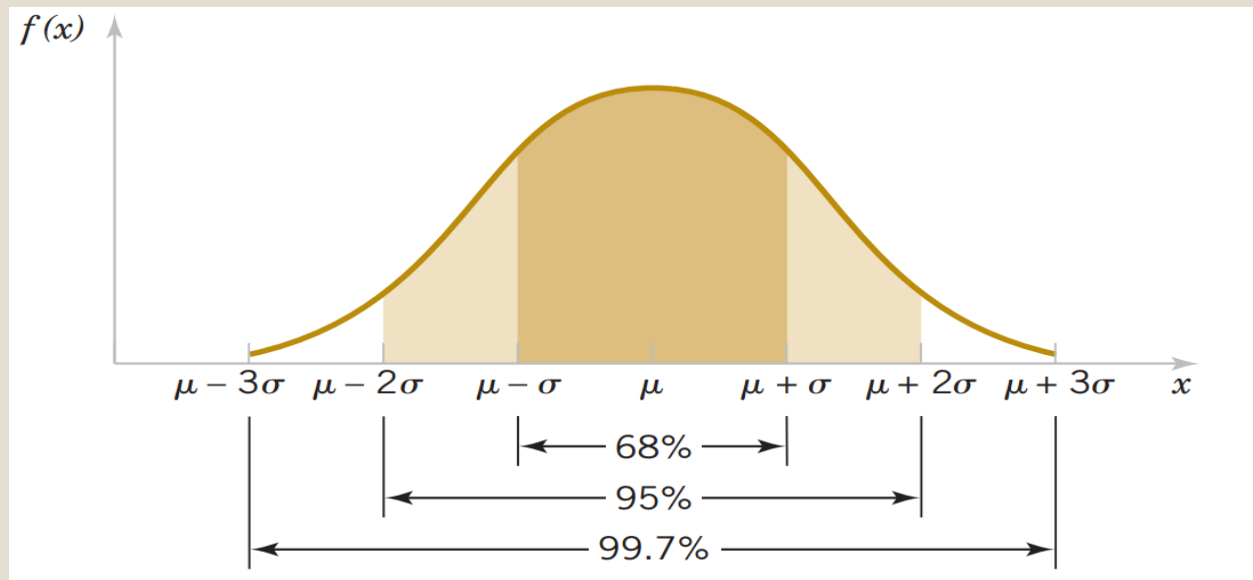




# É aleatório!

$$p(F, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{F^2}{2\sigma^2}}$$

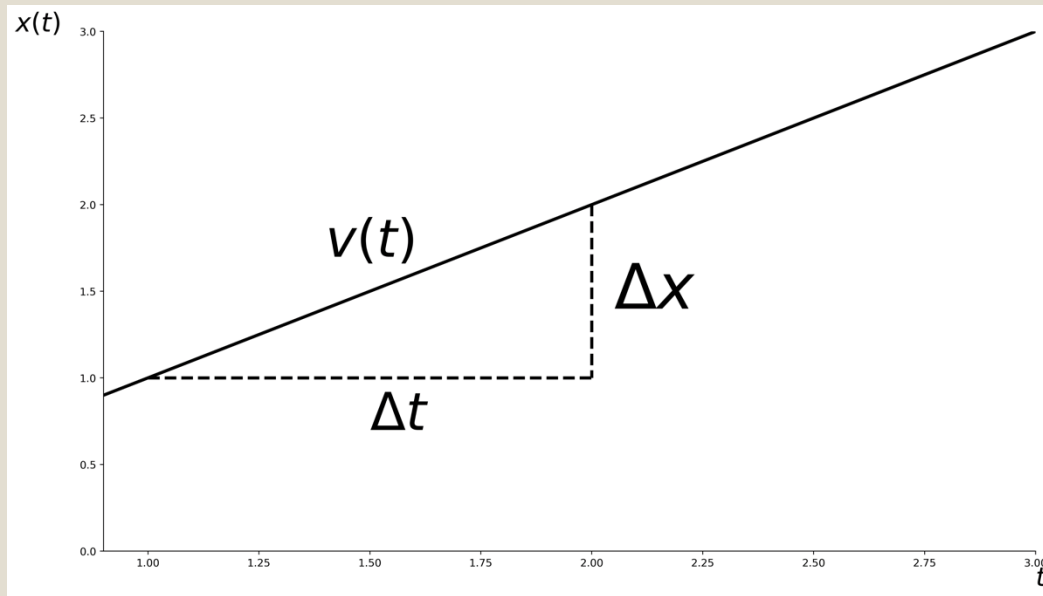
$$\sigma_F = \sqrt{2\gamma K_B T}$$



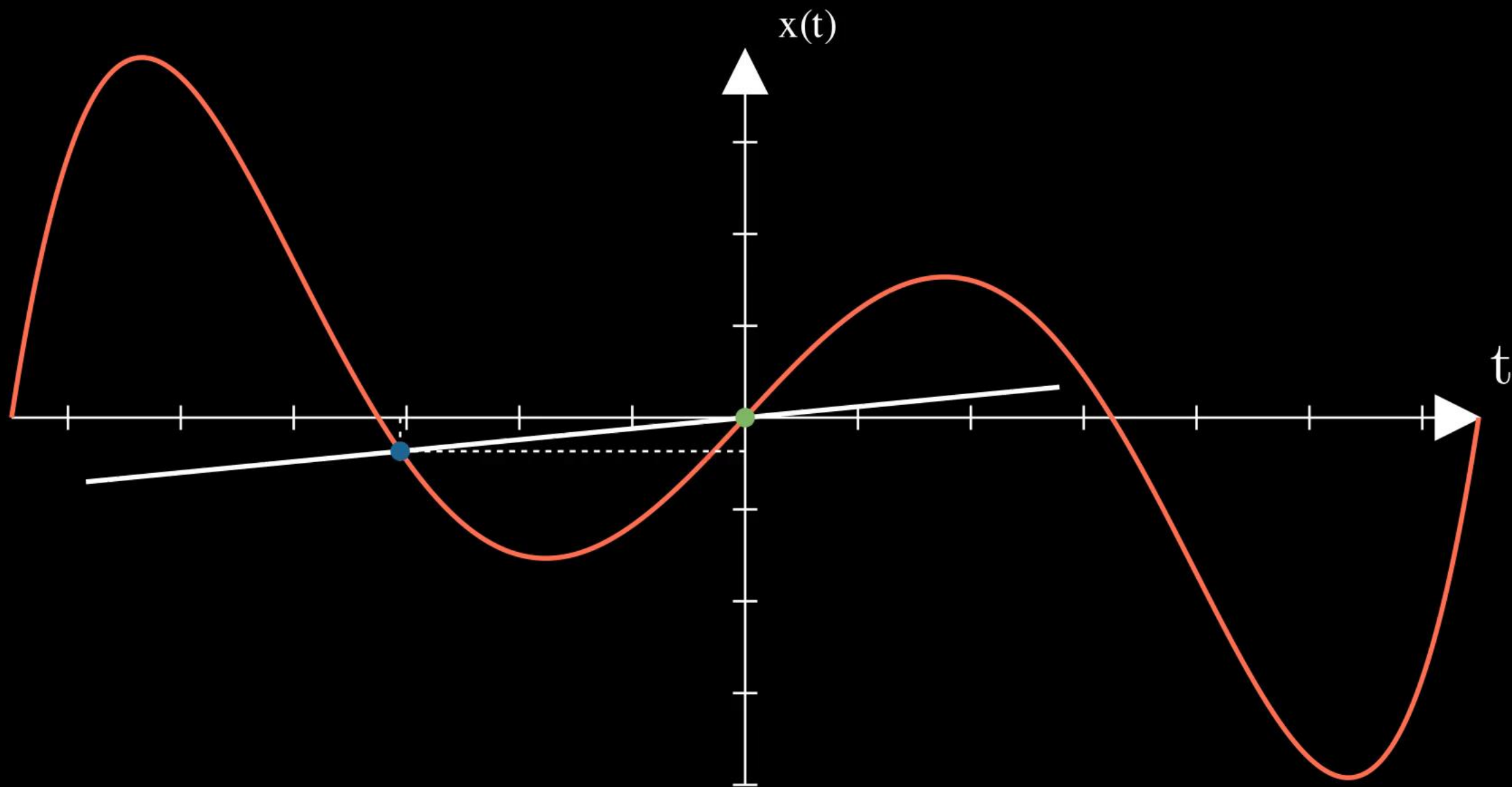
Definir o desvio padrão da força de colisão em função da temperatura e das propriedades da partícula e do fluido, assumindo uma distribuição normal

# Velocidade Instantânea

- Começamos com os princípios da velocidade média
- O *declive*  $= \frac{\Delta x}{\Delta t}$  é a velocidade média



- Quanto menor for o  $\Delta t$ , mais próxima vai ser a velocidade média à velocidade instantânea, sendo que, quando  $\Delta t \rightarrow 0$ , obtemos o valor exato da velocidade instantânea da partícula.



# Método de Euler

- Partindo de:

- $v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t}$

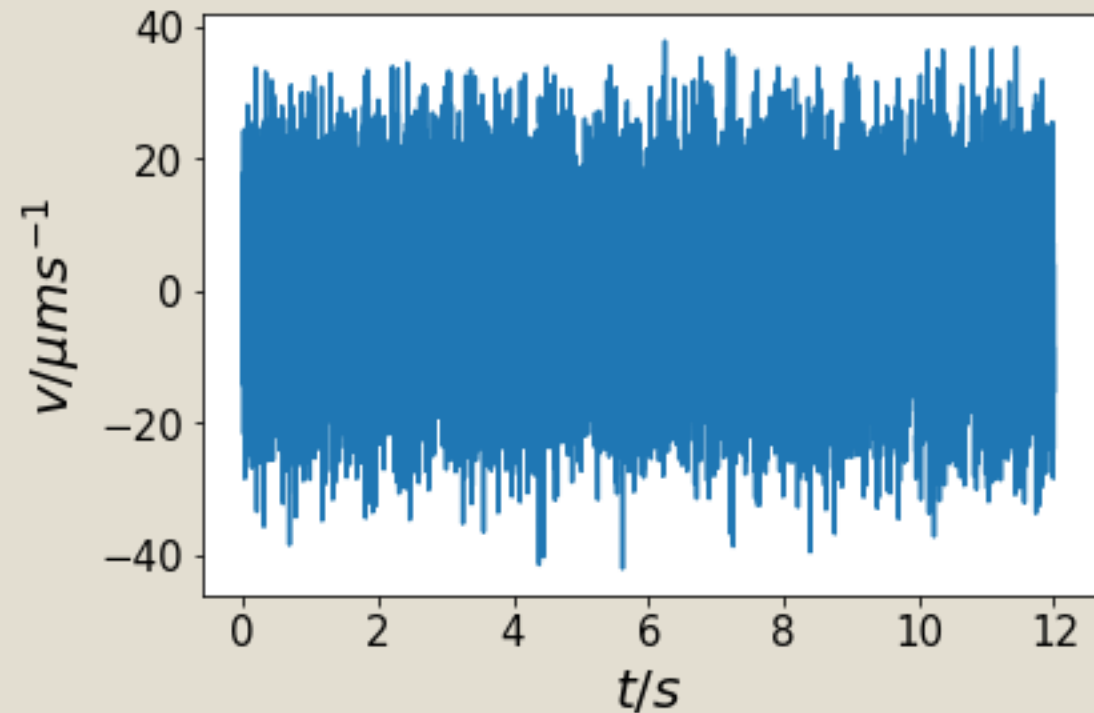
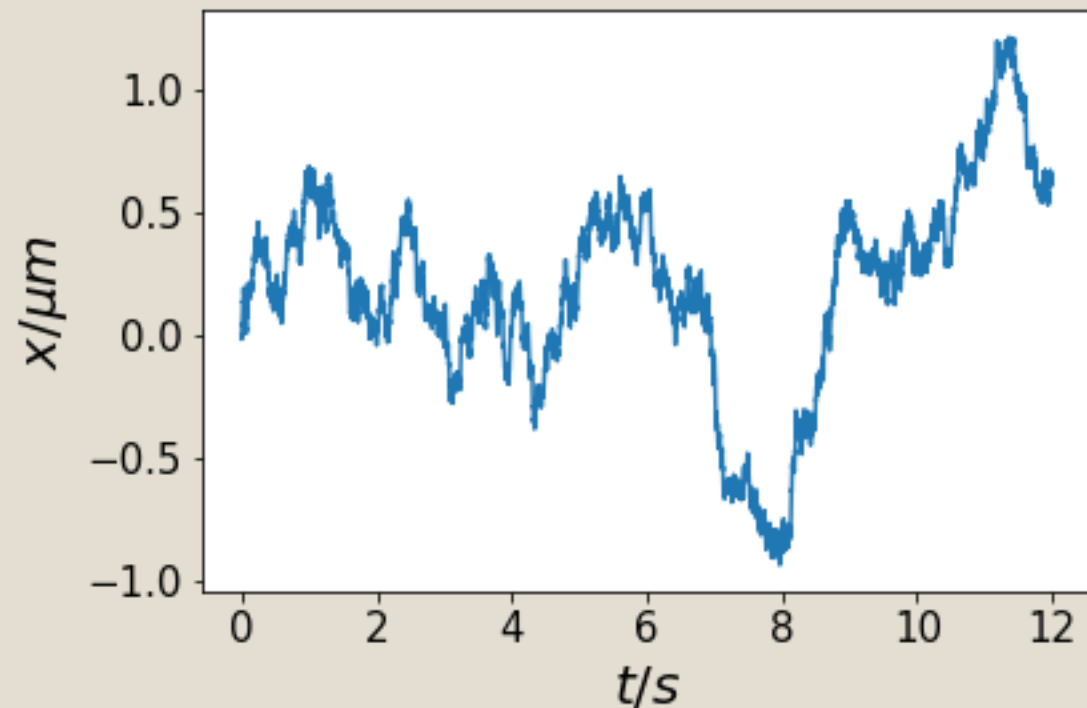
- Podemos reorganizar esta equação para obter:

- $x(t + \Delta t) = x(t) + v(t)\Delta t$

- Podemos utilizar o mesmo conceito para a velocidade:

- $v(t + \Delta t) = v(t) + a(t)\Delta t$

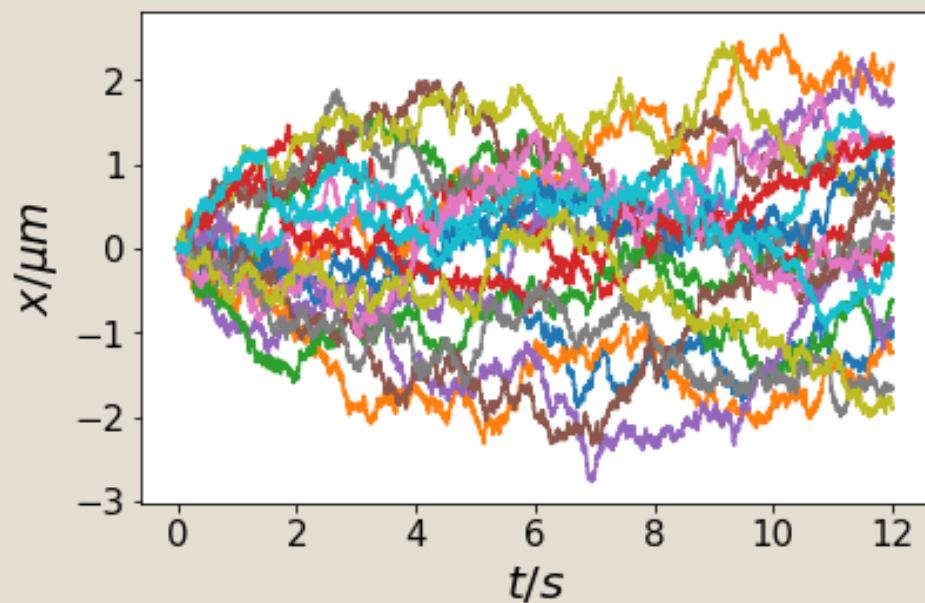
# Simulação



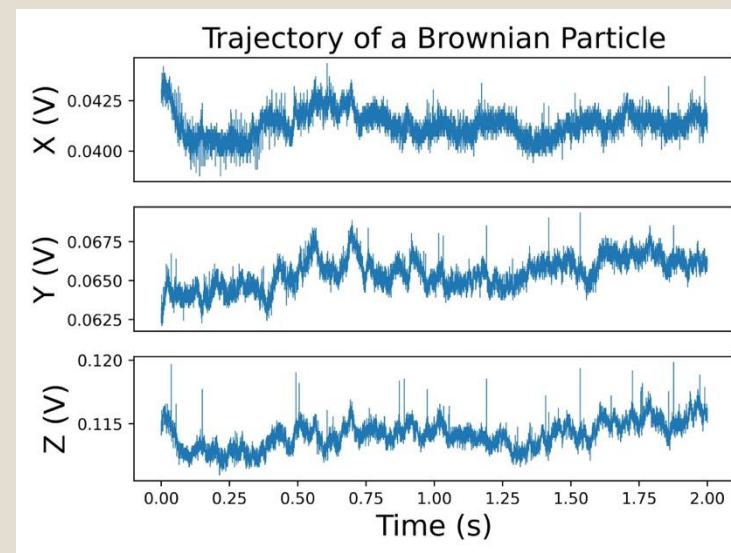
**Tempo total = 12 s**

**Intervalo de tempo =  $10^{-4}$  s**

# Simulações



Dados das simulações



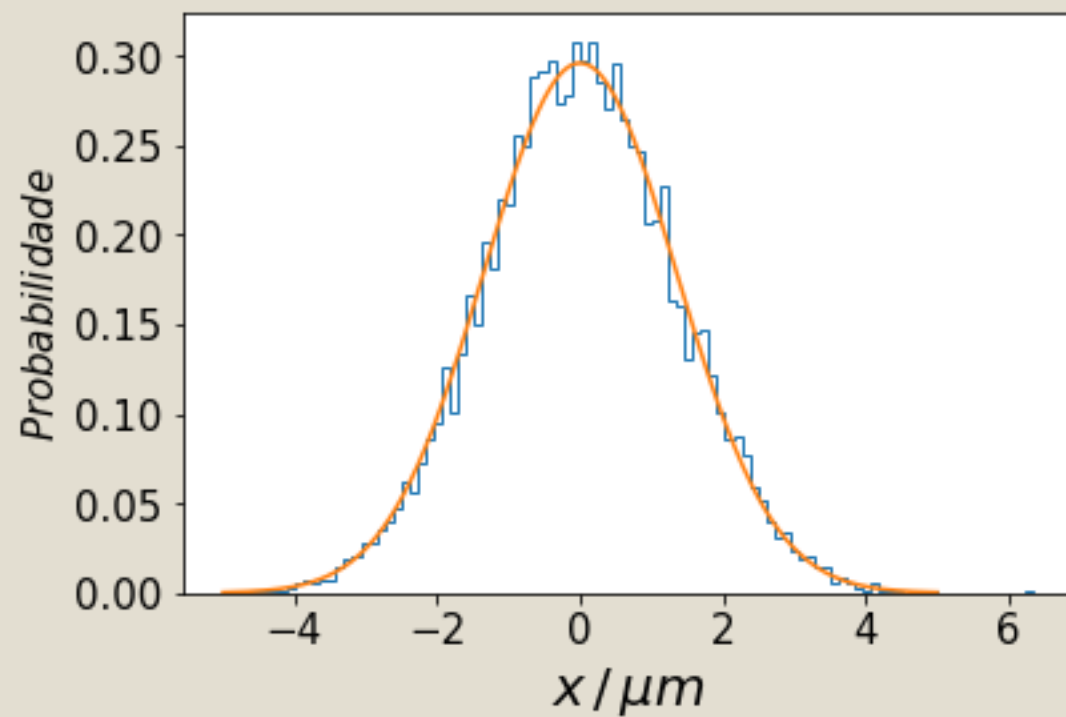
Dados experimentais

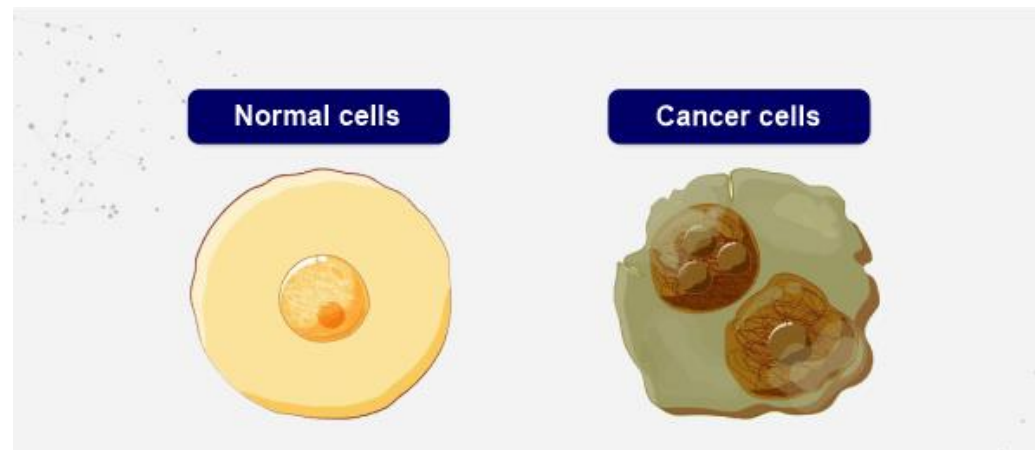


# Simulações

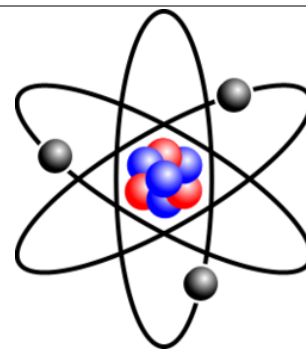
$$p(x, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$





**Quais são as aplicações disso?**



“No meu modo de pensar, esse fenómeno deve-se ao movimento térmico das moléculas do líquido que circunda as partículas”

*Joseph Delsaulx, 1877*

O MOVIMENTO BROWNIANO É A PRIMEIRA PROVA  
INDIRETA DA EXISTÊNCIA DOS ÁTOMOS