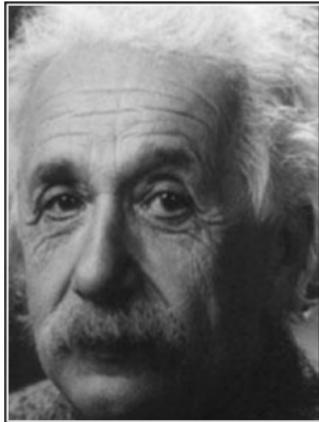


# Aula 1

Prof. Márcio Sampaio Gomes Filho



# Termodinâmica clássica



Classical thermodynamics... is the  
only physical theory of universal  
content which I am convinced... will  
never be overthrown.

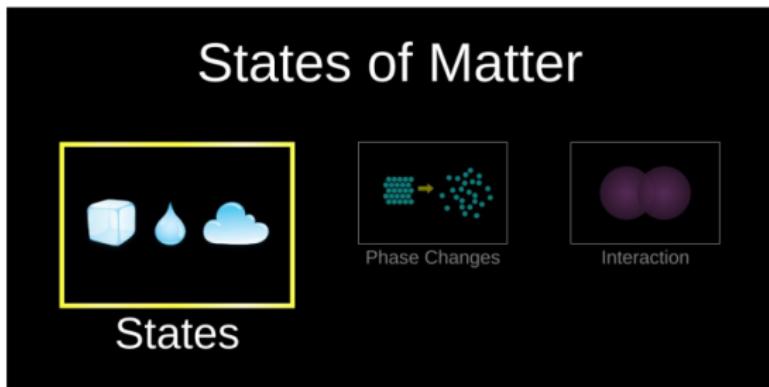
— *Albert Einstein* —

AZ QUOTES

❖ [LINK.](#)

# O que acontece quando mudamos a temperatura?

Faça uma simulação!



Fonte:

[https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter/latest/states-of-matter\\_all.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter/latest/states-of-matter_all.html)



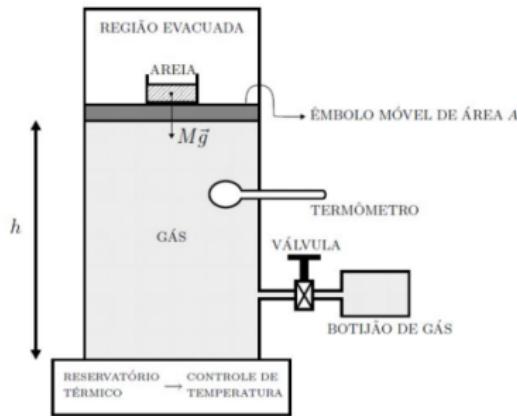
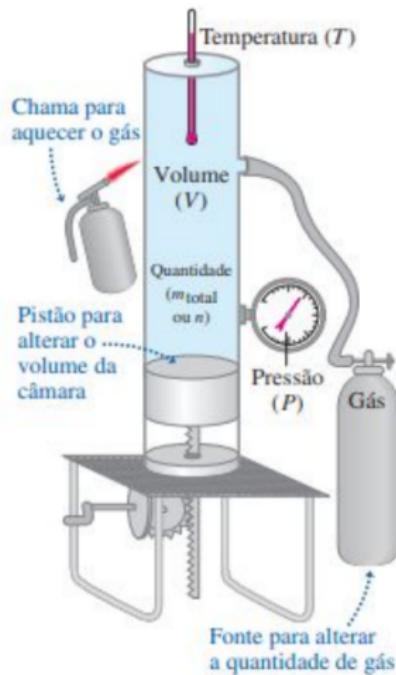
❖ LINK.

# Sistemas Simples

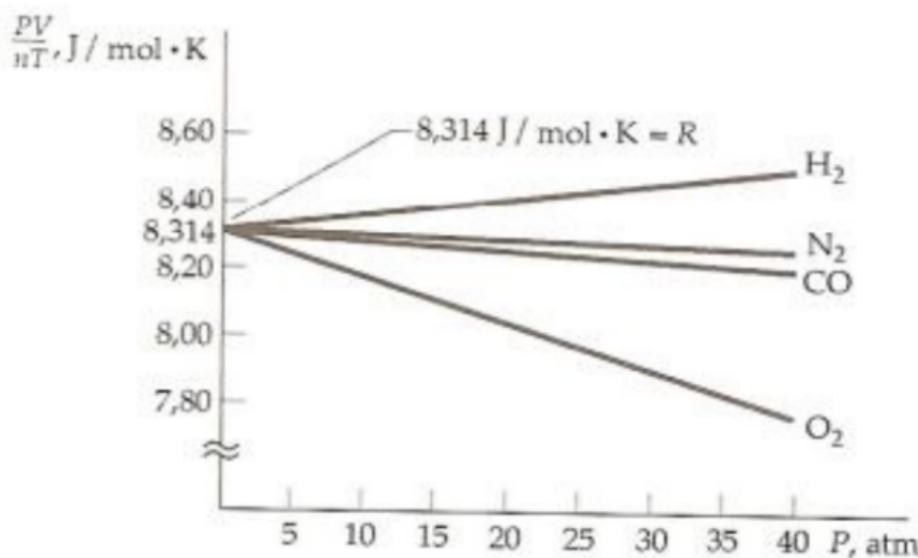


- ❖ [LINK](#).
- ❖ "It is simple, but not so simple"

# Gás Ideal



# Gás Ideal

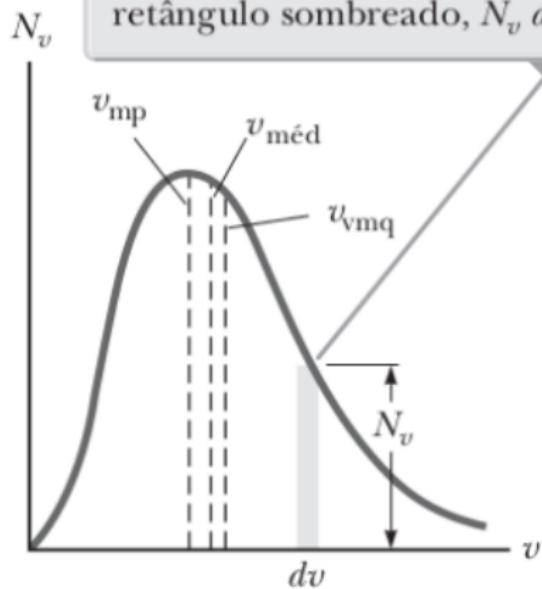


# Distribuição de velocidades moleculares (Maxwell-Boltzmann)

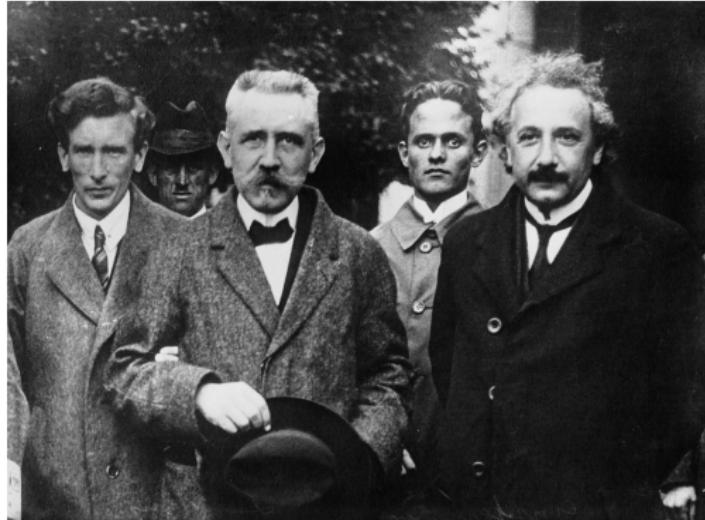
- ❖ James Clerk Maxwell (1860) desenvolveu um modelo estrutural que prevê essa distribuição de velocidades.
- ❖ Sua obra e os desenvolvimentos posteriores por outros cientistas eram altamente controversos, porque os experimentos daquela época não podiam detectar diretamente as moléculas.
- ❖ Cerca de 60 anos depois, porém, foram concebidos experimentos que confirmaram as previsões de Maxwell.

# Distribuição de velocidades moleculares

O número de moléculas com velocidades que variam de  $v$  até  $v + dv$  é igual à área do retângulo sombreado,  $N_v dv$ .



# Movimento Browniano



Leis de Fick (1855)

$$\frac{\partial \rho(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \rho(x, t)}{\partial x^2}$$

- ❖  $\rho$  : função densidade partículas;
- ❖  $D$ : coeficiente de difusão.

❖ [https://commons.wikimedia.org/  
wiki/File:Paul\\_Langevin\\_and\\_  
Albert\\_Einstein\\_1923.jpg,](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paul_Langevin_and_Albert_Einstein_1923.jpg)  
03/04/2020.

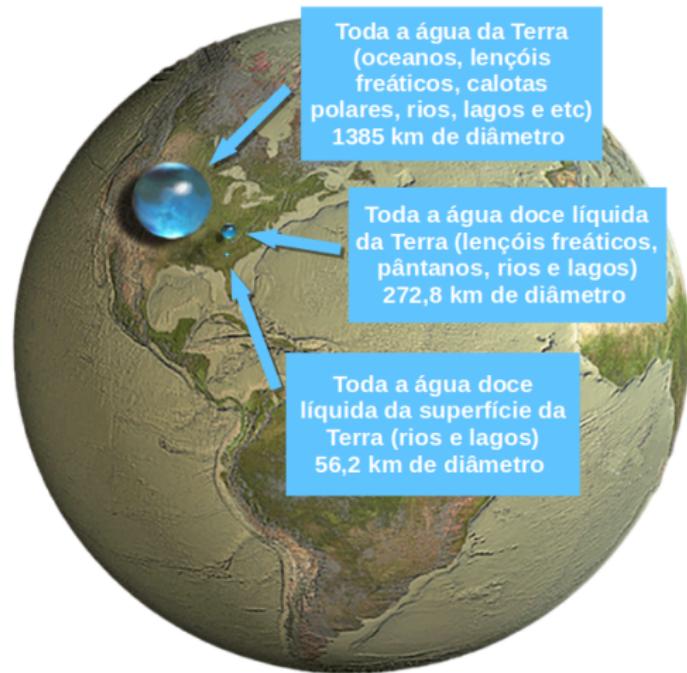
# Motivação (Movimento Browniano)

Einstein (1905)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \langle x^2(t) \rangle = 2Dt. \quad (2)$$

- ❖  $D = \frac{RT}{\gamma m N_a} = \frac{k_B T}{\gamma}$
- ❖ Estimativa de Einstein (soluções de açúcar em água:  
 $N_A = 2,1 \times 10^{23}$ ) partículas por mol.
- ❖ Confirmação experimental por Perrin e colaboradores em 1908. Jean Perrin foi agraciado com o Prêmio Nobel de Física em 1926.
- ❖ Ver mais em: Silvio R.A. Salinas, Einstein e a teoria do movimento browniano RBEF, 2005.

# Exercício



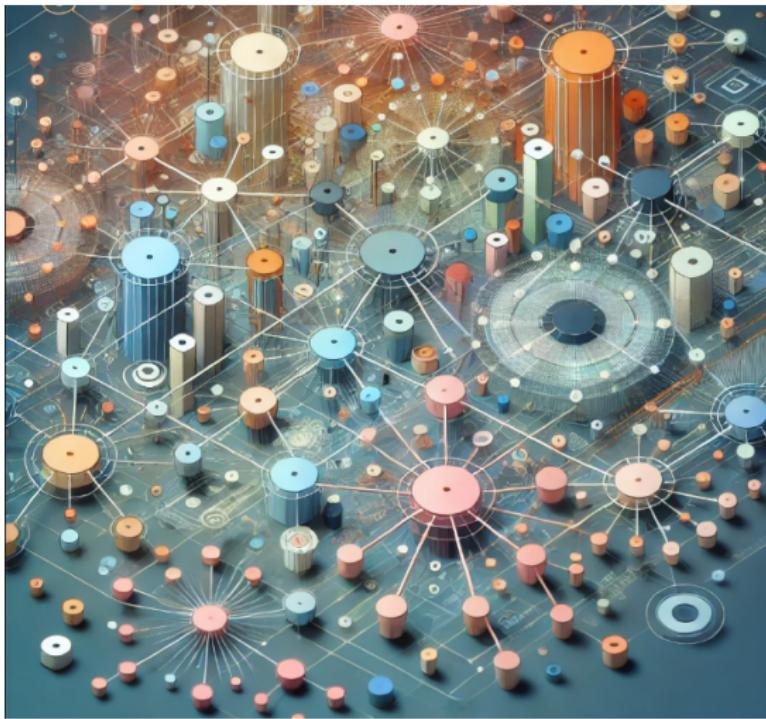
❖ Figura adaptada:[LINK](#).

# Motivação

## Física Estatística

A Física Estatística tem como objetivo principal descrever o comportamento coletivo de sistemas compostos por um grande número de componentes. Nesse processo, procura-se abstrair os detalhes específicos de cada sistema, focando nos padrões universais que surgem de suas interações.

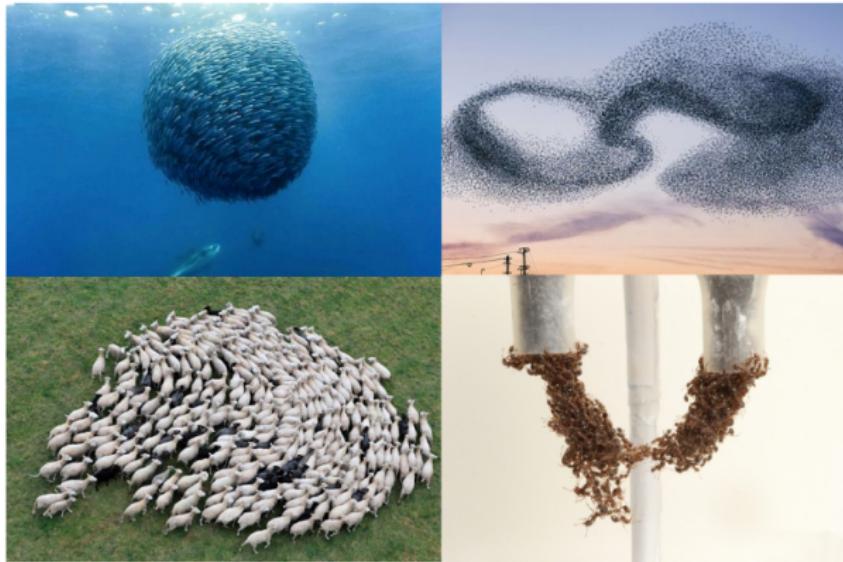
# Sistemas Complexos (Motivação)



# Formação de padrão, matéria ativa (Motivação)

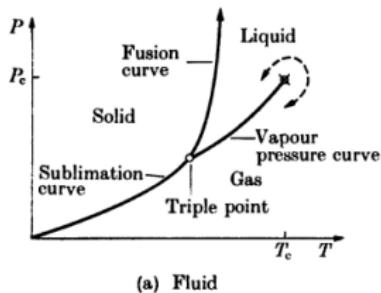
**Active matter:** fish, birds, sheep, ants, people, cells, microfilaments, artificial self-propelled colloids...

Non-equilibrium systems in which energy is injected and dissipated at the microscopic scale in the bulk, giving to each constituent an irreversible dynamics

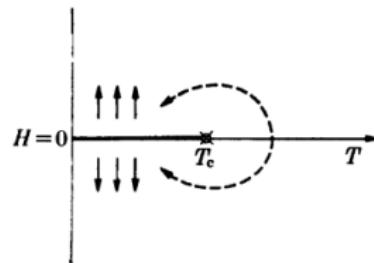


- ❖ Pablo de Castro (IFT-UNESP): pabloodecastro@gmail.com

# Transição de Fase/Fenômenos críticos (Motivação)



(a) Fluid

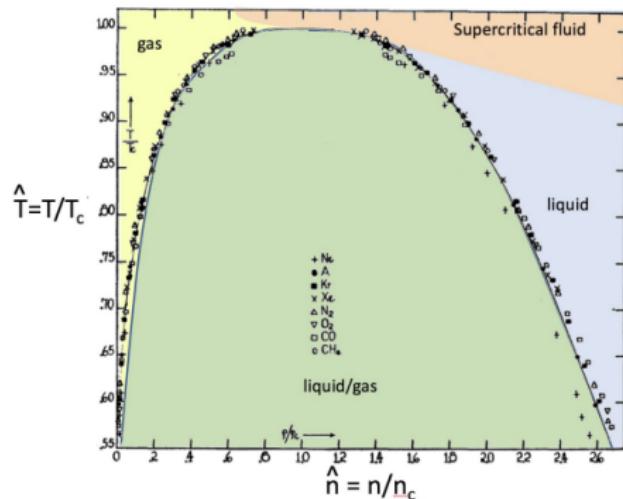


(b) Magnet

**Figure 1:** Phase diagram for a (non-anomalous) fluid and a magnetic system. At the critical point the phases can be continuously deformed into each other. Adapted from [1].

- ❖ REF: H Eugene Stanley and Guenter Ahlers. Introduction to phase transitions and critical phenomena. Vol. 26. 1973, p. 71.

# Transição de Fase/Fenômenos críticos (Motivação)



**Figure 13.** Reduced temperature versus reduced number density for a variety of different substances at saturation. Adapted from E.A. Guggenheim, J. Chem. Phys. 13, 253 (1945).

❖ [LINK](#).

# Transição de Fase/Fenômenos críticos (Motivação)

## Ponto crítico da transição líquido-vapor

| Substância   |                               | $T_c$ (K) | $p_c$ (MPa) | $\rho_c$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $p_c v_c / RT_c$ |
|--------------|-------------------------------|-----------|-------------|-------------------------------|------------------|
| hélio        | He                            | 5,1953    | 0,22746     | 0,06964                       | 0,303            |
| neônio       | Ne                            | 44,40     | 2,760       | 0,484                         | 0,312            |
| argônio      | Ar                            | 150,663   | 4,860       | 0,531                         | 0,292            |
| criptônio    | Kr                            | 209,40    | 5,500       | 0,919                         | 0,288            |
| xenônio      | Xe                            | 289,73    | 5,840       | 1,110                         | 0,287            |
| hidrogênio   | H <sub>2</sub>                | 32,98     | 1,293       | 0,0310                        | 0,306            |
| oxigênio     | O <sub>2</sub>                | 154,581   | 5,043       | 0,436                         | 0,288            |
| nitrogênio   | N <sub>2</sub>                | 126,20    | 3,390       | 0,313                         | 0,289            |
| monox. carb. | CO                            | 132,91    | 3,499       | 0,301                         | 0,294            |
| diox. carb.  | CO <sub>2</sub>               | 304,14    | 7,375       | 0,468                         | 0,274            |
| amônia       | NH <sub>3</sub>               | 405,5     | 11,35       | 0,237                         | 0,242            |
| água         | H <sub>2</sub> O              | 647,14    | 22,06       | 0,322                         | 0,230            |
| metano       | CH <sub>4</sub>               | 190,56    | 4,592       | 0,1627                        | 0,286            |
| etano        | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | 305,32    | 4,872       | 0,207                         | 0,279            |
| etileno      | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 282,34    | 5,041       | 0,214                         | 0,281            |
| propano      | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> | 369,83    | 4,248       | 0,220                         | 0,276            |

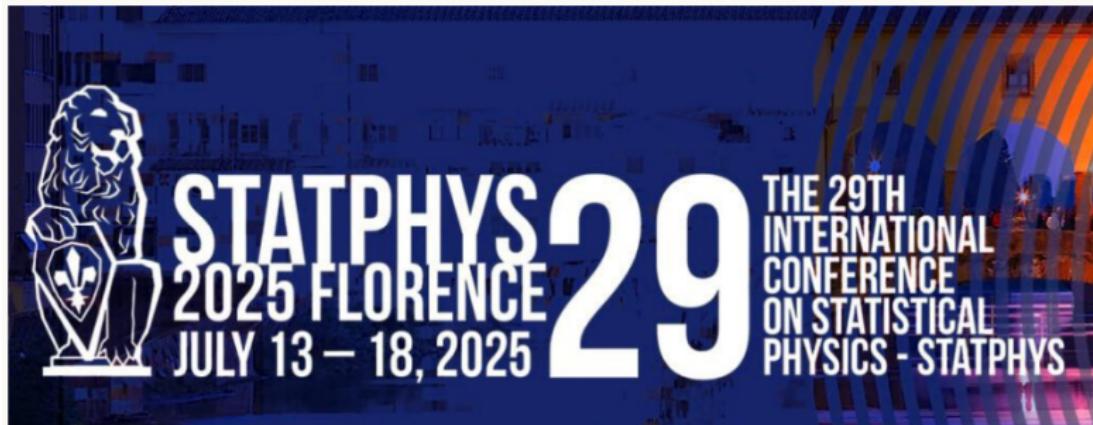
$$c_v \sim |\Delta T|^{-\alpha} \quad \Delta v \sim |\Delta T|^{\beta} \quad \kappa_T \sim |\Delta T|^{-\gamma} \quad |\Delta p| \sim |\Delta v|^{\delta}$$

❖ Mário José de Oliveira IF-USP.

# Para que serve a Física Estatística

- ❖ Prever e entender propriedades térmicas, cinéticas e de transporte em sólidos, líquidos e gases.
- ❖ Estudar transições de fase (ex: líquido-gás).
- ❖ Biologia (ex: dobramento de proteínas, dinâmica de populações).
- ❖ Física de Polímeros.
- ❖ Sistemas desordenados (ex: vidros de spin).
- ❖ Equilíbrio químico (ex: taxas de reações).
- ❖ Econofísica (ex: modelagem de mercados).
- ❖ Ciências Sociais (ex: dinâmica de opinião, redes sociais).
- ❖ Ciência da Computação (ex: algoritmos de aprendizado de máquina).
- ❖ E muito mais...

# Motivação



## Boltzmann Medal

文 12 languages ▾

[Article](#) [Talk](#)

[Read](#) [Edit](#) [View history](#) [Tools](#) ▾

From Wikipedia, the free encyclopedia

The **Boltzmann Medal** (or **Boltzmann Award**) is a prize awarded to [physicists](#) that obtain new results concerning [statistical mechanics](#); it is named after the celebrated physicist [Ludwig Boltzmann](#). The Boltzmann Medal is awarded once every three years by the *Commission on Statistical Physics of the International Union of Pure and Applied Physics*, during the [STATPHYS](#) conference.<sup>[1][2]</sup>

The award consists of a gilded medal; its front carries the inscription *Ludwig Boltzmann, 1844–1906*.

# Motivação

**30<sup>TH</sup> INTERNATIONAL  
CONFERENCE ON  
STATISTICAL PHYSICS  
(STATPHYS)**

**Salvador-Bahia, Brazil  
July 17-21, 2028**



Suani Pinho (UFBA) - Chair  
Celia Anteneodo (PUC-Rio) - Co-chair

---

   UFBA  SALVADOR CONVENTION CENTER  GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA

## Alguns sucessos

- ❖ Validação da hipótese molecular (Maxwell, Einstein, Planck, Boltzmann)
- ❖ Propriedades termodinâmicas macroscópicas emergem do comportamento coletivo de partículas (Boltzmann e Gibbs)
- ❖ Teoria dos calores específicos de gases e sólidos (Einstein e Debye)
- ❖ Transição de fase ferromagnética-paramagnética: solução exata do modelo de Ising em 2D (Onsager, 1944)
- ❖ Fenômenos críticos: comportamento universal próximo a transições de fase
- ❖ Condensação de Bose–Einstein (prevista em 1924–25, observada em 1995)
- ❖ ...

# Contribuições premiadas com o Nobel ligadas à Física Estatística

- ❖ Max Planck – Nobel de Física, 1918: Motivo: Origem da teoria quântica. Derivou a fórmula do corpo negro com argumentos estatísticos.
- ❖ Lars Onsager – Nobel de Química, 1968: Motivo: Teoria dos processos irreversíveis.
- ❖ Kenneth G. Wilson – Nobel de Física, 1982: Motivo: Teoria do grupo de renormalização, fundamental para o entendimento de fenômenos críticos e transições de fase.
- ❖ Eric Cornell, Carl Wieman, Wolfgang Ketterle – Nobel de Física, 2001: Motivo: Realização experimental da condensação de Bose–Einstein em gases diluídos.

# Contribuições premiadas com o Nobel ligadas à Física Estatística

- ❖ Giorgio Parisi – Nobel de Física, 2021: Motivo: Descobertas sobre sistemas físicos complexos e desordenados (ex: vidros de spin).
- ❖ John J. Hopfield e Geoffrey E. Hinton – Nobel de Física, 2024: Motivo: Descobertas fundamentais que possibilitaram o aprendizado de máquina com redes neurais artificiais, usando conceitos derivados da Física Estatística.

# Motivação

Página Inicial   Histórico e Objetivos   Comitês   Convidados   Inscrições   Alimentação   Mais

---



# IV Encontro Nacional de Física Estatística

Destacamos que a organização do ENFE está incentivando a submissão de trabalhos na área de Diversidade e Inclusão em física.  
Teremos espaço para posters e apresentações orais na temática dentro da programação do evento.



3 a 7 de novembro de 2024  
UFPR, Curitiba - PR

# Motivação

- ❖ FAPESP Master Fellowship on Statistical Physics
  - I am seeking highly motivated individuals to fill fully funded Master student positions at the Institute of Theoretical Physics (IFT-UNESP) and the ICTP South American Institute for Fundamental Research (ICTP-SAIFR). The research project will be led by **Prof. Danilo Liarte (IFT-UNESP and ICTP-SAIFR)**, and will involve exciting recent developments in the areas of statistical physics, disordered systems and condensed matter theory (see <http://www.ictp-saifr.org/liarte> for additional information).