



# Alguns Problemas em Aberto da Física

Victor O. Rivelles

`rivelles@fma.if.usp.br`

Instituto de Física

Universidade de São Paulo

# Palestra de Lord Kelvin em 1900

---

- “Nineteenth century clouds over the dynamical theory of heat and light”

# Palestra de Lord Kelvin em 1900

---

- “Nineteenth century clouds over the dynamical theory of heat and light”
- **Nuvem I:** O movimento relativo do éter e corpos ponderáveis
- **Nuvem II:** Problemas com a doutrina de Maxwell-Boltzmann em relação a equipartição da energia

# Palestra de Lord Kelvin em 1900

---

- “Nineteenth century clouds over the dynamical theory of heat and light”
- **Nuvem I:** O movimento relativo do éter e corpos ponderáveis
- **Nuvem II:** Problemas com a doutrina de Maxwell-Boltzmann em relação a equipartição da energia
- **Nuvem I => Teoria da relatividade especial**

# Palestra de Lord Kelvin em 1900

---

- “Nineteenth century clouds over the dynamical theory of heat and light”
- **Nuvem I:** O movimento relativo do éter e corpos ponderáveis
- **Nuvem II:** Problemas com a doutrina de Maxwell-Boltzmann em relação a equipartição da energia
- **Nuvem I => Teoria da relatividade especial**
- **Nuvem II => Teoria quântica**

# Palestra de David Hilbert em 1900

---

- “Mathematical Problems”

# Palestra de David Hilbert em 1900

---

- “Mathematical Problems”
- Discutiu 23 problemas -> problemas de Hilbert
- Influenciaram o desenvolvimento da matemática ao longo do século XX

# Clay Mathematics Institute - 2000

---

- Millennium Problems
- Foram propostos 7 problemas
- DOIS PROBLEMAS SÃO DE FÍSICA :



# Clay Mathematics Institute - 2000

---

- Millennium Problems
- Foram propostos 7 problemas
- DOIS PROBLEMAS SÃO DE FÍSICA :
- Equação de Navier-Stokes
- Teoria de Yang-Mills

# Equação de Navier-Stokes

---

- Foi proposta no século XIX. Descreve o fluxo de fluídos tais como líquidos e gases.

# Equação de Navier-Stokes

---

- Foi proposta no século XIX. Descreve o fluxo de fluídos tais como líquidos e gases.
- Governam o movimento do ar na atmosfera, as correntes oceânicas, o fluxo de água num cano, ...

# Equação de Navier-Stokes

- Foi proposta no século XIX. Descreve o fluxo de fluídos tais como líquidos e gases.
- Governam o movimento do ar na atmosfera, as correntes oceânicas, o fluxo de água num cano, ...

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} \vec{u} \right) = -\vec{\nabla} p + \mu (\nabla^2 \vec{u} + \frac{1}{3} \vec{\nabla} (\vec{\nabla} \cdot \vec{u})) + \rho \vec{u}$$

- $\rho$  densidade,  $\vec{u}$  velocidade,  $p$  pressão,  $\mu$  viscosidade
- Mais uma equação de estado

# Turbulência

---



- Fluxo laminar
- Fluxo turbulento

# Teoria de Yang-Mills

---

- Em 1954 foi proposta uma generalização do eletromagnetismo para explicar o comportamento das partículas elementares
- Em 1970 o modelo padrão das partículas elementares foi concluído

# Teoria de Yang-Mills

---

- Em 1954 foi proposta uma generalização do eletromagnetismo para explicar o comportamento das partículas elementares
- Em 1970 o modelo padrão das partículas elementares foi concluído
- Átomos -> núcleo + elétrons

# Teoria de Yang-Mills

---

- Em 1954 foi proposta uma generalização do eletromagnetismo para explicar o comportamento das partículas elementares
- Em 1970 o modelo padrão das partículas elementares foi concluído
- Átomos -> núcleo + elétrons
- Núcleos -> prótons + neutrons



# Teoria de Yang-Mills

---

- Em 1954 foi proposta uma generalização do eletromagnetismo para explicar o comportamento das partículas elementares
- Em 1970 o modelo padrão das partículas elementares foi concluído
- Átomos -> núcleo + elétrons
- Núcleos -> prótons + neutrons
- Prótons e Neutrons -> quarks

# Partículas de Matéria

## FERMIONS

matter constituents  
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\nu_e$ electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0
<b>e</b> electron	0.000511	-1
$\nu_\mu$ muon neutrino	$<0.0002$	0
<b><math>\mu</math></b> muon	0.106	-1
$\nu_\tau$ tau neutrino	$<0.02$	0
<b><math>\tau</math></b> tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
<b>u</b> up	0.003	2/3
<b>d</b> down	0.006	-1/3
<b>c</b> charm	1.3	2/3
<b>s</b> strange	0.1	-1/3
<b>t</b> top	175	2/3
<b>b</b> bottom	4.3	-1/3

# Forças Fundamentais

---

- A matéria interage através de forças de interação

# Forças Fundamentais

---

- A matéria interage através de forças de interação
  - ▶ Força gravitacional
  - ▶ Força eletromagnética
  - ▶ Força fraca (ex: decaimento  $\beta$  do neutron)
  - ▶ Força forte (ex: forças nucleares)
- Forte: 1; EM:  $10^{-2}$ ; Fraca:  $10^{-5}$ ; Gravit.:  $10^{-39}$

# Forças Fundamentais

- A matéria interage através de forças de interação
  - ▶ Força gravitacional
  - ▶ Força eletromagnética
  - ▶ Força fraca (ex: decaimento  $\beta$  do neutron)
  - ▶ Força forte (ex: forças nucleares)
- Forte: 1; EM:  $10^{-2}$ ; Fraca:  $10^{-5}$ ; Gravit.:  $10^{-39}$
- As forças fundamentais da Natureza são transportadas por partículas

# Partículas das Forças Fundamentais

## BOSONS

force carriers  
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\gamma$ photon	0	0
$W^-$	80.4	-1
$W^+$	80.4	+1
$Z^0$	91.187	0

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$g$ gluon	0	0

# Bárions

## Baryons $qqq$ and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

Baryons are fermionic hadrons.  
There are about 120 types of baryons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass $\text{GeV}/c^2$	Spin
<b>p</b>	proton	<b>uud</b>	1	0.938	1/2
<b><math>\bar{p}</math></b>	anti-proton	<b><math>\bar{u}\bar{u}\bar{d}</math></b>	-1	0.938	1/2
<b>n</b>	neutron	<b>udd</b>	0	0.940	1/2
<b><math>\Lambda</math></b>	lambda	<b>uds</b>	0	1.116	1/2
<b><math>\Omega^-</math></b>	omega	<b>sss</b>	-1	1.672	3/2

# Teoria de Yang-Mills

---

- Descreve as partículas portadoras das forças fundamentais



# Teoria de Yang-Mills

---

- Descreve as partículas portadoras das forças fundamentais
- Não existe uma compreensão matematicamente rigorosa do comportamento quântico da teoria de Yang-Mills

# Teoria de Yang-Mills

---

- Descreve as partículas portadoras das forças fundamentais
- Não existe uma compreensão matematicamente rigorosa do comportamento quântico da teoria de Yang-Mills
- Experiências e simulações computacionais mostram que:

# Teoria de Yang-Mills

---

- Descreve as partículas portadoras das forças fundamentais
- Não existe uma compreensão matematicamente rigorosa do comportamento quântico da teoria de Yang-Mills
- Experiências e simulações computacionais mostram que:
- **Confinamento** -> não existem quarks livres

# Teoria de Yang-Mills

---

- Descreve as partículas portadoras das forças fundamentais
- Não existe uma compreensão matematicamente rigorosa do comportamento quântico da teoria de Yang-Mills
- Experiências e simulações computacionais mostram que:
  - Confinamento -> não existem quarks livres
  - Mass gap -> partículas possuem uma massa mínima

# PRÊMIO do Clay M. I.

---

# PRÊMIO do Clay M. I.

---

**1 milhão de dolares !!!**

# Supercondutores

---

- Supercondutores -> ausência completa de resistância elétrica e amortecimento rápido do campo magnético (no interior)

# Supercondutores

---

- Supercondutores -> ausência completa de resistância elétrica e amortecimento rápido do campo magnético (no interior)
- Aplicações: linhas de transmissão elétrica, levitação magnética, ressonância magnética



# Supercondutores

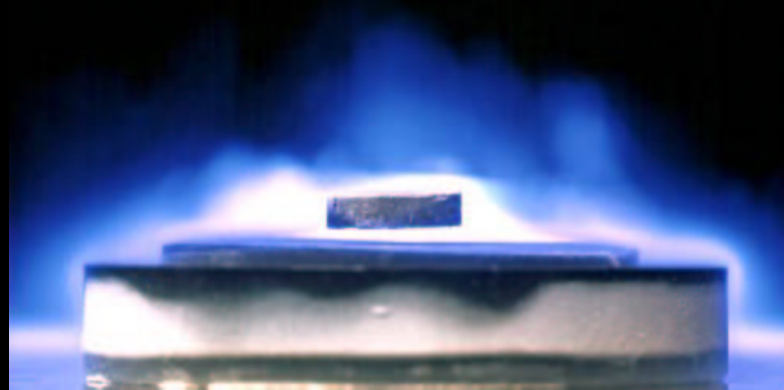
---

- Supercondutores -> ausência completa de resistância elétrica e amortecimento rápido do campo magnético (no interior)
- Aplicações: linhas de transmissão elétrica, levitação magnética, ressonância magnética
- Supercondutividade aparece a baixas temperaturas  $4K$  -> Helio líquido

# Supercondutores de altas temperaturas

---

Em 1986 foi descoberta a supercondutividade a altas temperaturas  $77K$  -> Nitrogênio líquido



# Supercondutores

---

- Baixas temperaturas -> teoria BCS

# Supercondutores

---

- Baixas temperaturas -> teoria BCS
- Altas temperaturas -> não existe uma teoria completa!

# Cosmologia

---

- Relatividade geral -> história do Universo:  
cosmologia
- Modelo cosmológico padrão

# Cosmologia

---

- Relatividade geral -> história do Universo:  
cosmologia
- Modelo cosmológico padrão
- Desconhecemos 95% do conteúdo do Universo !!!
- Apenas 5% é constituído por matéria normal

# Cosmologia

---

- **Matéria escura** -> 20%
- Desde **1930** sabe-se da existência dela

# Cosmologia

---

- **Matéria escura** -> 20%
- Desde **1930** sabe-se da existência dela
- **Energia escura** -> 75%
- Responsável pela **aceleração** da expansão do Universo



# Gravitação Quântica

---

- A relatividade geral e a mecânica quântica são incompatíveis

# Gravitação Quântica

---

- A relatividade geral e a mecânica quântica são **incompatíveis**
- Partícula que transporta a força gravitacional: **gráviton**

# Gravitação Quântica

---

- A relatividade geral e a mecânica quântica são **incompatíveis**
- Partícula que transporta a força gravitacional: **gráviton**
- Existem duas linhas de ataque:

# Gravitação Quântica

---

- A relatividade geral e a mecânica quântica são **incompatíveis**
- Partícula que transporta a força gravitacional: **gráviton**
- Existem duas linhas de ataque:
- **Loop Quantum Gravity**
  - ▶ Objetos fundamentais são **laços** numa teoria quântica
  - ▶ Quantização da área
  - ▶ Não é claro a relação com a relatividade geral

# Teoria de Cordas

---

- Partículas elementares: **pontuais**

# Teoria de Cordas

---

- Partículas elementares: **pontuais**
- Considere objetos estendidos: **cordas, membranas, ...**
- O que chamamos de partículas agora são os **modos normais de vibração da corda**

# Teoria de Cordas

---

- Partículas elementares: **pontuais**
- Considere objetos estendidos: **cordas, membranas, ...**
- O que chamamos de partículas agora são os **modos normais de vibração da corda**
- Fornece uma teoria para o gráviton em espaços planos (**cordas fechadas**)
- Contém o modelo padrão das partículas elementares (**cordas abertas**)

# Teoria de Cordas

---

- Dimensão do espaço-tempo é  $10 = 1 + 9$



# Teoria de Cordas

---

- Dimensão do espaço-tempo é  $10 = 1 + 9$
- Questão experimental !!!

# Teoria de Cordas

---

- Dimensão do espaço-tempo é  $10 = 1 + 9$
- Questão experimental !!!
- Violação de  $F \sim 1/r^2$  para a gravitação

# Teoria de Cordas

---

- Dimensão do espaço-tempo é  $10 = 1 + 9$
- Questão experimental !!!
- Violação de  $F \sim 1/r^2$  para a gravitação
- Num espaço-tempo de  $d$  dimensões temos  
 $F \sim 1/r^{d-2}$

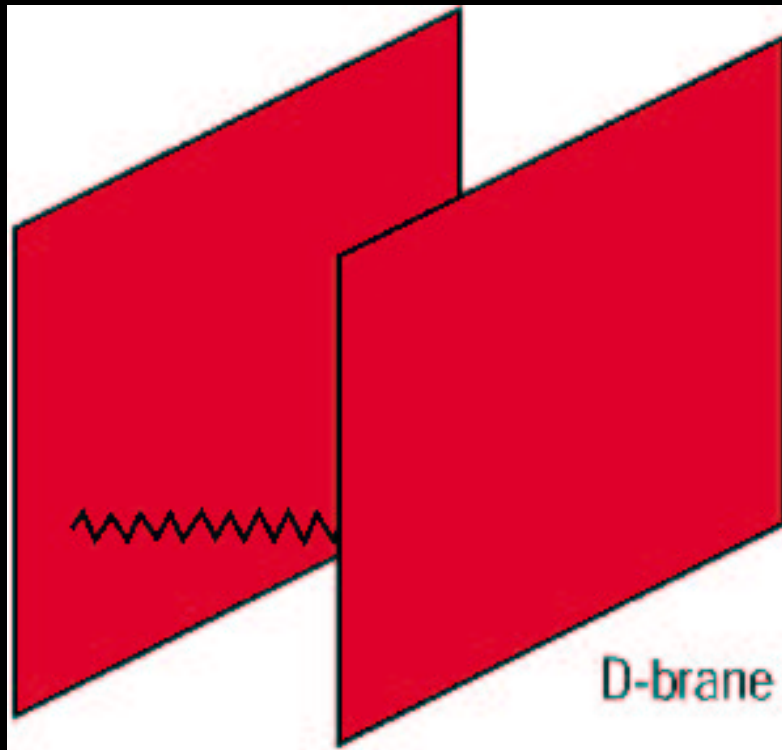
# Teoria de Cordas

---

- Dimensão do espaço-tempo é  $10 = 1 + 9$
- Questão experimental !!!
- Violação de  $F \sim 1/r^2$  para a gravitação
- Num espaço-tempo de  $d$  dimensões temos  
 $F \sim 1/r^{d-2}$
- Experimentos recentes confirmam  $F \sim 1/r^2$   
para distâncias maiores que  $10^{-4}m$

# Membranas

---



Nosso Universo poderia ser um 3-brana

# Referências

---

- <http://fma.if.usp.br/rivelles/>
- <http://www.claymath.org/millennium/>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/unsolved\\_problems\\_in\\_physics](http://en.wikipedia.org/wiki/unsolved_problems_in_physics)
- Revistas recomendadas:
  - Physics Today
  - New Scientist
  - Physics World
  - Scientific American
  - Ciência Hoje
  - Nature
  - Science

# Conclusão

---

Demonstration of the Exponential Decay Law  
Using Beer Froth

Demonstração da Lei do Decaimento  
Exponencial Usando Espuma de Cerveja

# Conclusão

---

Demonstration of the Exponential Decay Law  
Using Beer Froth

Demonstração da Lei do Decaimento  
Exponencial Usando Espuma de Cerveja

A. Leike, *European Journal of Physics*, vol. 23, January 2002,  
pp. 21-26.



# Conclusão

---

Demonstration of the Exponential Decay Law  
Using Beer Froth

Demonstração da Lei do Decaimento  
Exponencial Usando Espuma de Cerveja

A. Leike, *European Journal of Physics*, vol. 23, January 2002,  
pp. 21-26.

Vencedor do prêmio **Ig Nobel de Física** de 2002

<http://www.improbable.com/ig/ig-top.html>

# Resumo

---

O volume da espuma de cerveja decai exponencialmente com o tempo. Esta propriedade é utilizada para demonstrar a lei do decaimento exponencial. A constante de decaimento depende do tipo de cerveja e pode ser usada para diferenciar entre diferentes cervejas. A análise mostra de forma transparente as técnicas de análise de dados usadas usualmente em ciência – testes de consistência do modelo teórico com os dados, estimativa de parâmetros e determinação de intervalos de confiança.