

---

# A Teoria de Cordas e a Unificação das Forças da Natureza

Victor O. Rivelles

Instituto de Física

Universidade de São Paulo

rivelles@fma.if.usp.br

<http://www.fma.if.usp.br/~rivelles/>

**Simpósio Nacional de Ensino de Física - São Luíz, MA, 30/01/2007**

# O Método Científico

---

- **Observação do Fenômeno:** É importante que o fenômeno possa ser **repetido**. Nessa fase são feitas medidas cuidadosas.

# O Método Científico

---

- **Observação do Fenômeno:** É importante que o fenômeno possa ser **repetido**. Nessa fase são feitas medidas cuidadosas.
- **Criação de Hipóteses:** Imaginam-se explicações para o fenômeno. A procura da explicação (do porquê) leva, muitas vezes à criação de um **Modelo**. A hipótese ou modelo mais simples e elegante é escolhido como provável explicação para o fenômeno estudado. Um modelo é uma descrição formal de um fenômeno, uma maneira de entender o fenômeno, que é capaz de fazer previsões.

# O Método Científico

---

- **Observação do Fenômeno:** É importante que o fenômeno possa ser **repetido**. Nessa fase são feitas medidas cuidadosas.
- **Criação de Hipóteses:** Imaginam-se explicações para o fenômeno. A procura da explicação (do porquê) leva, muitas vezes à criação de um **Modelo**. A hipótese ou modelo mais simples e elegante é escolhido como provável explicação para o fenômeno estudado. Um modelo é uma descrição formal de um fenômeno, uma maneira de entender o fenômeno, que é capaz de fazer previsões.
- **Teste das Hipóteses:** A hipótese escolhida deve explicar **novas observações e novos fenômenos**. O modelo relacionado à esta hipótese deve ser capaz de fazer previsões sobre fenômenos que ainda vão ocorrer. Se a hipótese estiver errada, dependendo do grau de erro, ela deve ser melhorada, parcialmente corrigida ou abandonada (trocada por outra hipótese).

# O Método Científico

---

- **Observação do Fenômeno:** É importante que o fenômeno possa ser **repetido**. Nessa fase são feitas medidas cuidadosas.
- **Criação de Hipóteses:** Imaginam-se explicações para o fenômeno. A procura da explicação (do porquê) leva, muitas vezes à criação de um **Modelo**. A hipótese ou modelo mais simples e elegante é escolhido como provável explicação para o fenômeno estudado. Um modelo é uma descrição formal de um fenômeno, uma maneira de entender o fenômeno, que é capaz de fazer previsões.
- **Teste das Hipóteses:** A hipótese escolhida deve explicar **novas observações e novos fenômenos**. O modelo relacionado à esta hipótese deve ser capaz de fazer previsões sobre fenômenos que ainda vão ocorrer. Se a hipótese estiver errada, dependendo do grau de erro, ela deve ser melhorada, parcialmente corrigida ou abandonada (trocada por outra hipótese).
- **Estabelecimento de uma Lei Científica:** Se a hipótese é comprovada pelos testes ela se torna uma lei científica.

# O Método Científico

---

- **Observação do Fenômeno:** É importante que o fenômeno possa ser **repetido**. Nessa fase são feitas medidas cuidadosas.
- **Criação de Hipóteses:** Imaginam-se explicações para o fenômeno. A procura da explicação (do porquê) leva, muitas vezes à criação de um **Modelo**. A hipótese ou modelo mais simples e elegante é escolhido como provável explicação para o fenômeno estudado. Um modelo é uma descrição formal de um fenômeno, uma maneira de entender o fenômeno, que é capaz de fazer previsões.
- **Teste das Hipóteses:** A hipótese escolhida deve explicar **novas observações e novos fenômenos**. O modelo relacionado à esta hipótese deve ser capaz de fazer previsões sobre fenômenos que ainda vão ocorrer. Se a hipótese estiver errada, dependendo do grau de erro, ela deve ser melhorada, parcialmente corrigida ou abandonada (trocada por outra hipótese).
- **Estabelecimento de uma Lei Científica:** Se a hipótese é comprovada pelos testes ela se torna uma lei científica.
- **Criação de uma Teoria:** Uma teoria é um conjunto de leis que explica um mesmo fenômeno ou alguns fenômenos relacionados entre si e que já foi testada e comprovada em um grande número de experiências.

# O que é unificar?

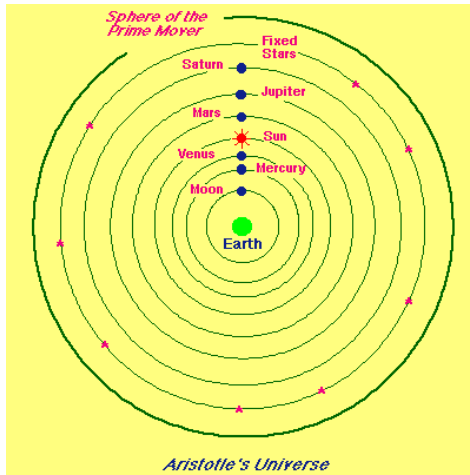
---

- **Reduccionismo na ciência:** explicar o maior número possível de fenômenos com o menor número possível de hipóteses.

# O que é unificar?

---

- **Reduccionismo na ciência:** explicar o maior número possível de fenômenos com o menor número possível de hipóteses.

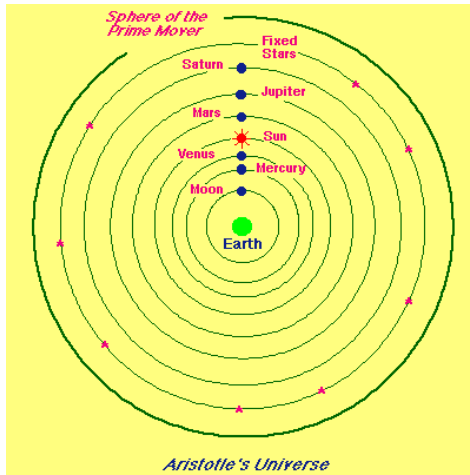


**Aristóteles:** movimento nos céus é diferente do movimento na Terra.

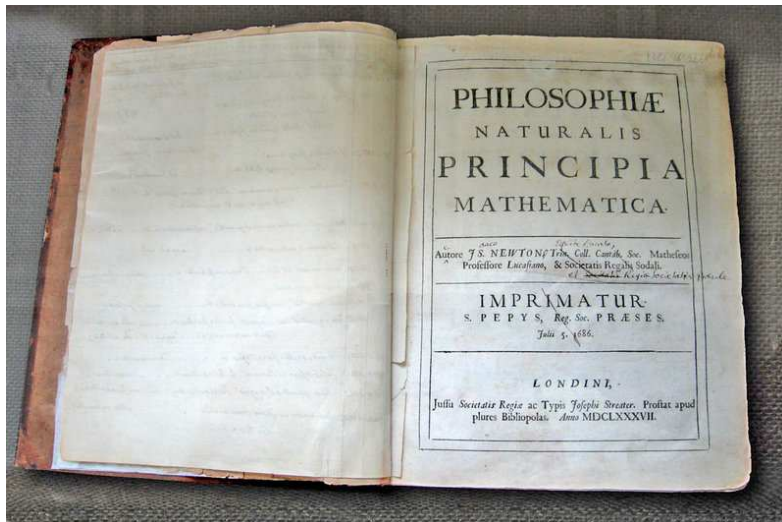


# O que é unificar?

- **Reduccionismo na ciência:** explicar o maior número possível de fenômenos com o menor número possível de hipóteses.



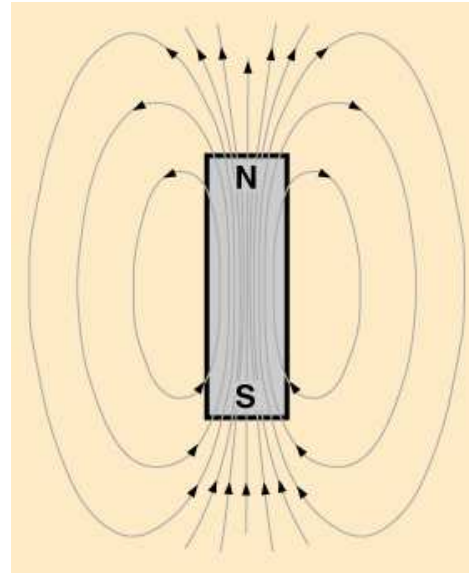
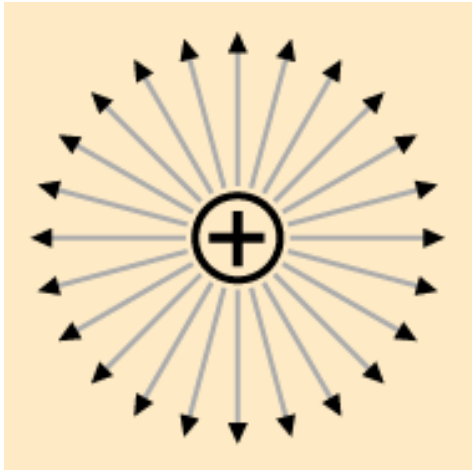
**Aristóteles:** movimento nos céus é diferente do movimento na Terra.



**Kepler, Galileo e Newton:** unificaram o movimento dos corpos celestes e terrestres nas **LEIS DE MOVIMENTO DE NEWTON**

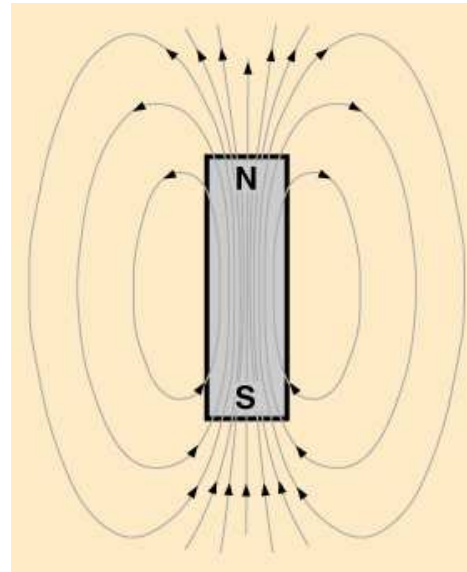
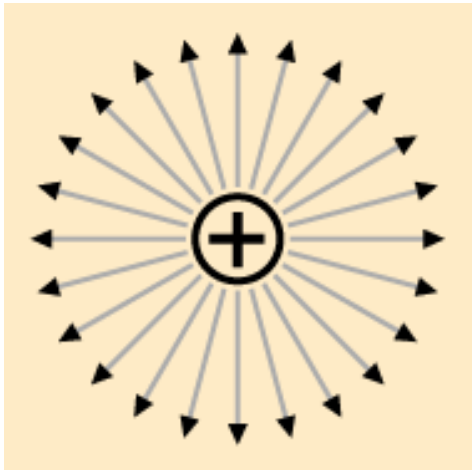
# O que é unificar?

---

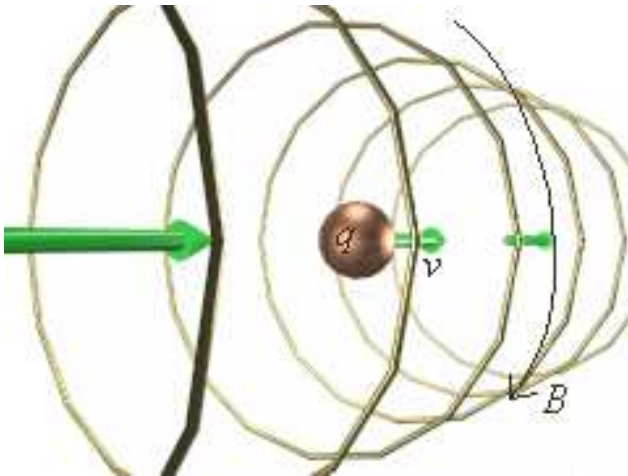


Fenômenos **elétricos e magnéticos** têm naturezas diferentes.

# O que é unificar?



Fenômenos **elétricos e magnéticos** têm naturezas diferentes.



**Faraday e Maxwell:** unificaram o campo elétrico e magnético na **TEORIA ELE-TROMAGNÉTICA**

# Teorias unificadas

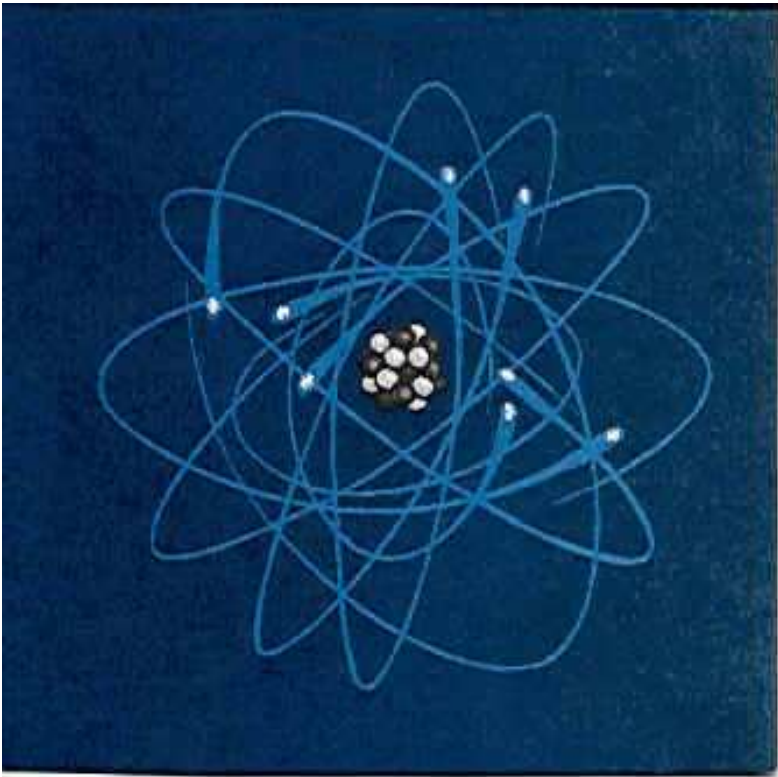
---

Hoje em dia reconhece-se que a **unificação** é um ingrediente essencial na compreensão dos **objetos fundamentais** que encontramos na Natureza

# Teorias unificadas

---

Hoje em dia reconhece-se que a **unificação** é um ingrediente essencial na compreensão dos **objetos fundamentais** que encontramos na Natureza



- Sabemos que toda matéria que conhecemos é composta de **átomos**.
- Os átomos são compostos de um **núcleo e elétrons**.

# Teorias Unificadas

---



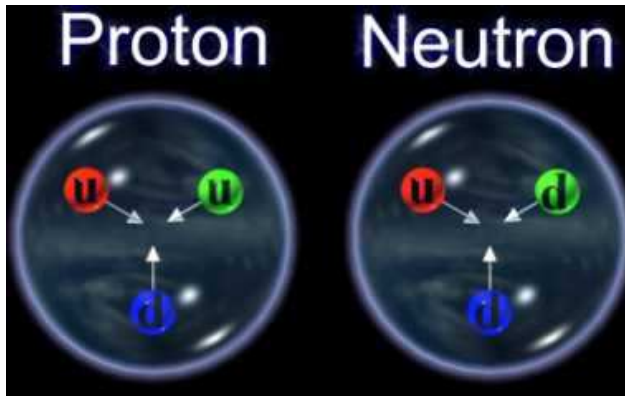
O núcleo é composto de **prótons e nêutrons**.

# Teorias Unificadas

---



O núcleo é composto de **prótons e neutrons**.



E os prótons e neutrons são compostos de **QUARKS!**

# 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



# Matéria

## 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 GeV/c <sup>2</sup>	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

# Forças Fundamentais

---

- A **matéria** interage através de **forças de interação**

# Forças Fundamentais

---

- A **matéria** interage através de **forças de interação**
- Existem **4** forças fundamentais na Natureza:

# Forças Fundamentais

---

- A **matéria** interage através de **forças de interação**
- Existem **4** forças fundamentais na Natureza:
  - 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**
- Existem **4** forças fundamentais na Natureza:
  - 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**

# Forças Fundamentais

## BOSONS

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

Unified Electroweak spin = 1

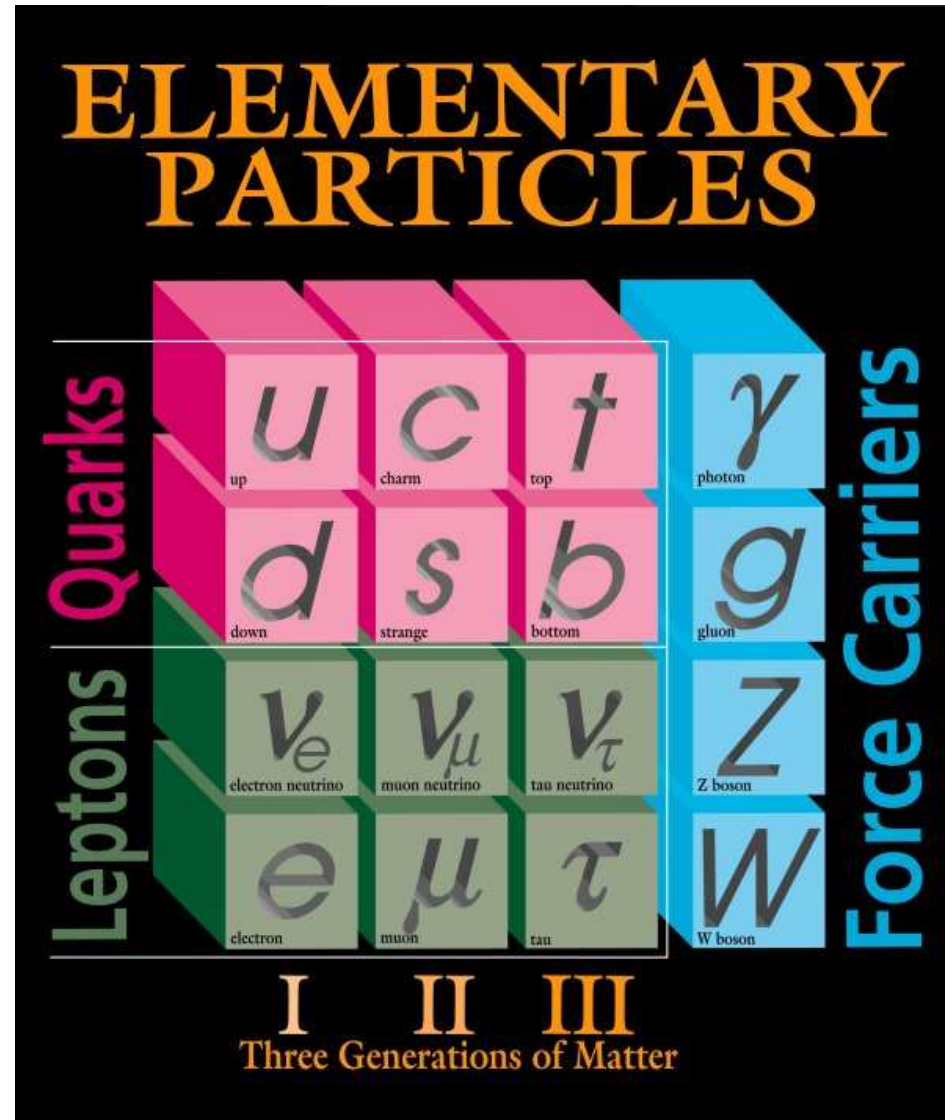
Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\gamma$ photon	0	0
$W^-$	80.4	-1
$W^+$	80.4	+1
$Z^0$	91.187	0

Strong (color) spin = 1

Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$g$ gluon	0	0

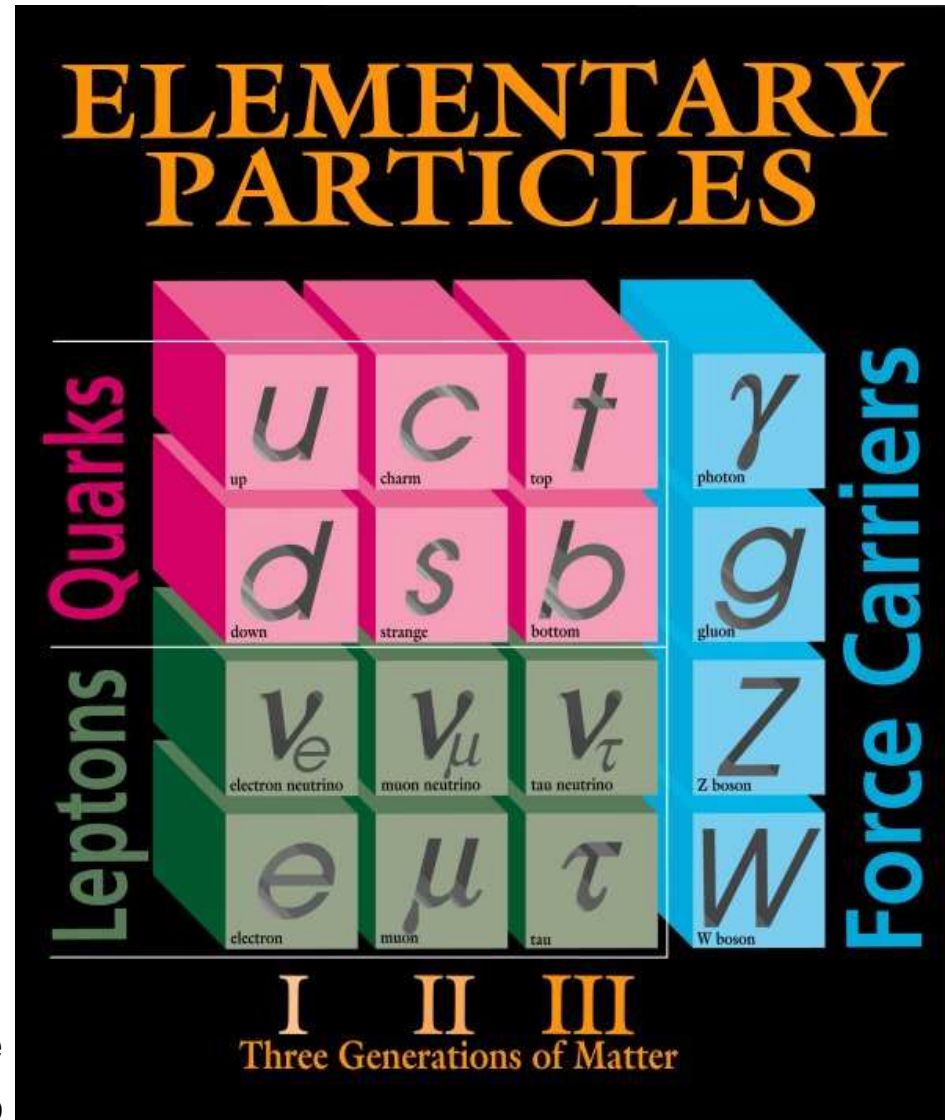
# Situação Atual

- As **partículas elementares** são descritas por uma **teoria quântica de campos** no qual as partículas são tratadas como pontos.
- Teoria unificada das forças **eletromagnéticas e fracas**: **Teoria Eletrofraca** ou de Salam-Weinberg
- Teoria para as forças **fortes**: **Cromodinâmica Quântica**
- Juntas formam o **Modêlo Padrão das Partículas Elementares**.



# Situação Atual

- As **partículas elementares** são descritas por uma **teoria quântica de campos** no qual as partículas são tratadas como pontos.
- Teoria unificada das forças **eletromagnéticas e fracas**: **Teoria Eletrofraca ou de Salam-Weinberg**
- Teoria para as forças **fortes**: **Cromodinâmica Quântica**
- Juntas formam o **Modêlo Padrão das Partículas Elementares**.
- Unificação das 3 forças: **teorias de grande unificação**.
- Previsão: o próton é **instável**:  $10^{31}$  anos
- Experimentos foram realizados e **NÃO** foi detectado o decaimento do próton!



Fermilab 95-759



# LHC - CERN

---



Organisation Européenne pour la  
Recherche Nucléaire (CERN)



Large Hadron Collider (LHC) - Tunel de  
27 Km de circunferência à 100 m de  
profundidade.

# LHC - CERN

---



Organisation Européenne pour la  
Recherche Nucléaire (CERN)



Large Hadron Collider (LHC) - Tunel de  
27 Km de circunferência à 100 m de  
profundidade.

Recentemente descobriu-se que as partículas do modelo padrão correspondem à apenas **4% do conteúdo do universo!!!**

# LHC - CERN

---



Organisation Européenne pour la  
Recherche Nucléaire (CERN)



Large Hadron Collider (LHC) - Tunel de  
27 Km de circunferência à 100 m de  
profundidade.

Recentemente descobriu-se que as partículas do modelo padrão correspondem à apenas **4% do conteúdo do universo!!!**

Tal informação veio de outra área: **COSMOLOGIA !!!**

# Gravitação Newtoniana

---

- A força gravitacional Newtoniana propaga-se **instantaneamente**.





# Gravitação Newtoniana

---

- A força gravitacional Newtoniana propaga-se **instantaneamente**.



- Está em contradição com a **relatividade restrita**!

# Gravitação Newtoniana

---

- A força gravitacional Newtoniana propaga-se **instantaneamente**.



- Está em contradição com a **relatividade restrita**!
- Einstein demorou 10 anos para compatibilizar a relatividade restrita com a gravitação.

# Gravitação Newtoniana

---

- A força gravitacional Newtoniana propaga-se **instantaneamente**.



- Está em contradição com a **relatividade restrita**!
- Einstein demorou 10 anos para compatibilizar a relatividade restrita com a gravitação.
- E o resultado é:

# Relatividade Geral

---

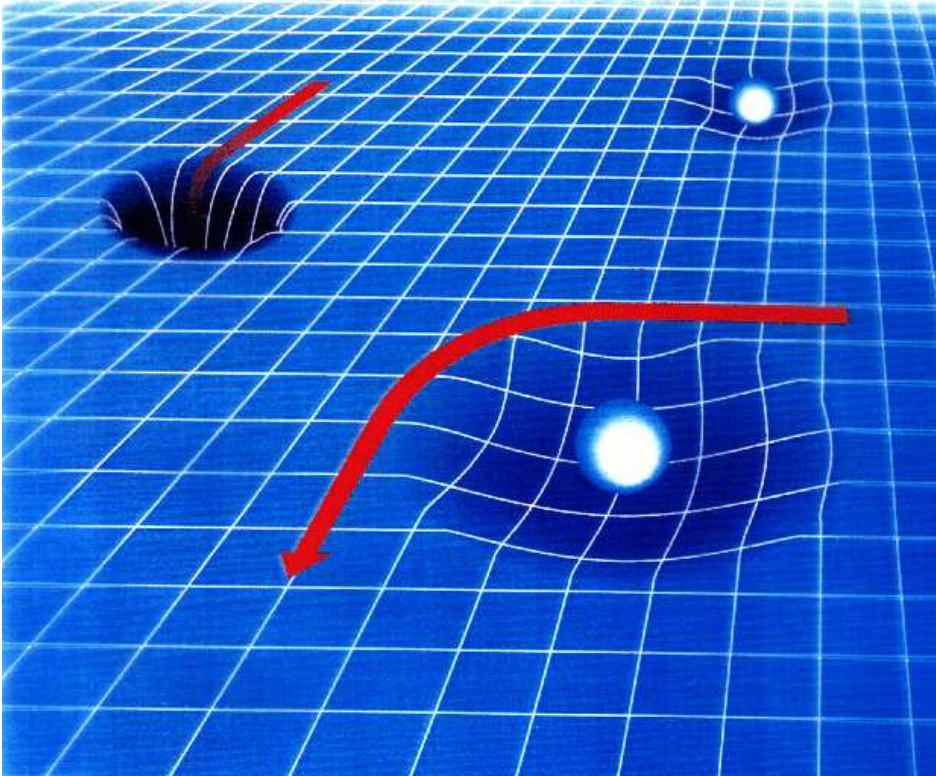
A Relatividade Geral é uma [teoria da gravitação relativística](#)



# Relatividade Geral

---

A Relatividade Geral é uma [teoria da gravitação relativística](#)

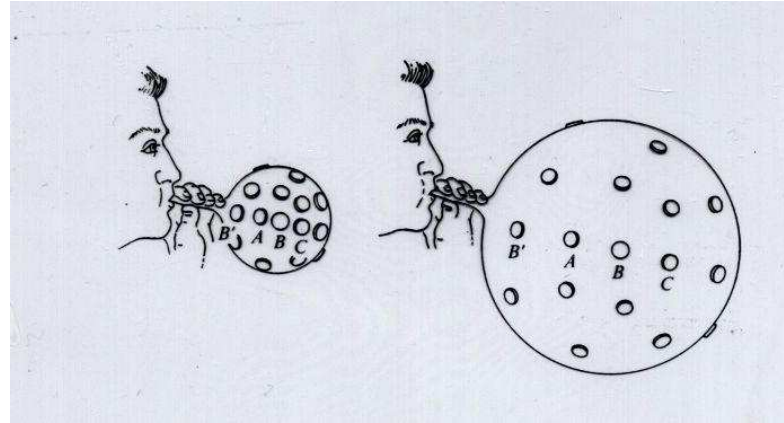


- Não há força gravitacional.
- A gravitação devido à curvatura do espaço.
- Matéria causa a curvatura do espaço.
- A curvatura determina o movimento da matéria.
- A curvatura determina todas as propriedades locais do espaço curvo.

# Cosmologia

---

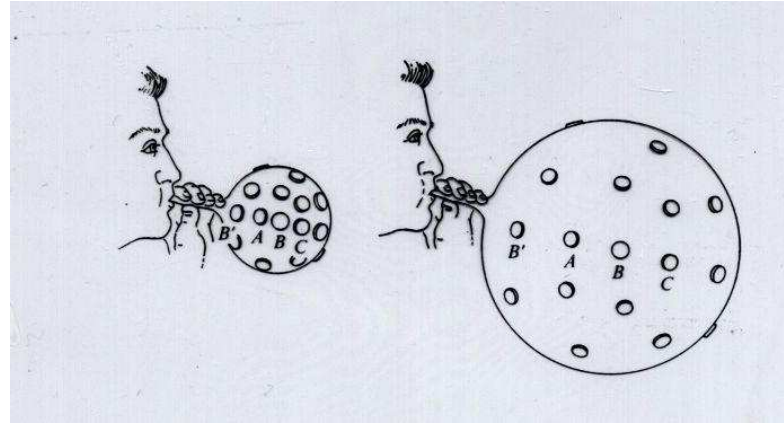
- A relatividade geral permite descrever a história do próprio Universo:  
**Cosmologia.**
- Prevê que o Universo está em **expansão!**



# Cosmologia

---

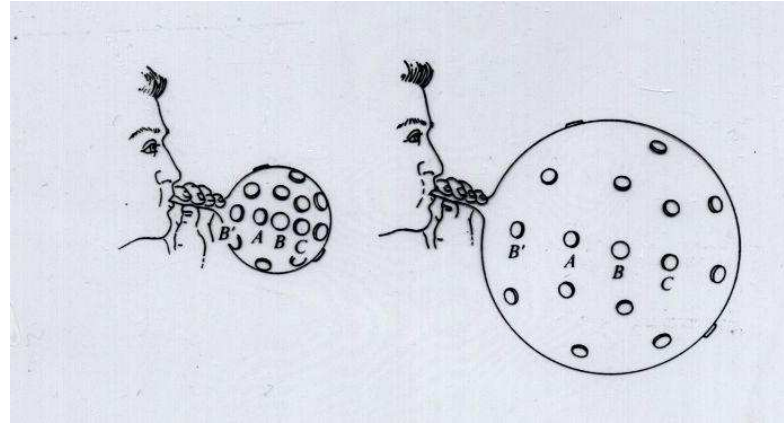
- A relatividade geral permite descrever a história do próprio Universo:  
**Cosmologia**.
- Prevê que o Universo está em **expansão!**
- Na época em que a relatividade geral foi descoberta acreditava-se que o Universo era **estático!**



# Cosmologia

---

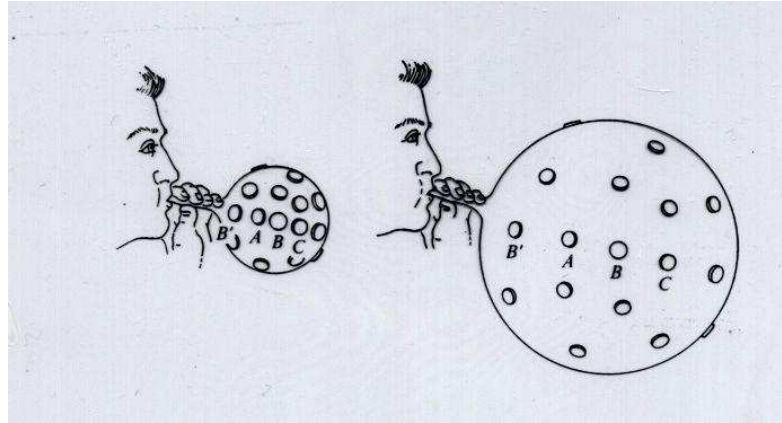
- A relatividade geral permite descrever a história do próprio Universo:  
**Cosmologia.**
- Prevê que o Universo está em **expansão!**
- Na época em que a relatividade geral foi descoberta acreditava-se que o Universo era **estático!**
- Einstein modifica suas equações para obter um universo estático e para isso introduz a **constante cosmológica!**



# Cosmologia

---

- A relatividade geral permite descrever a história do próprio Universo:  
**Cosmologia.**

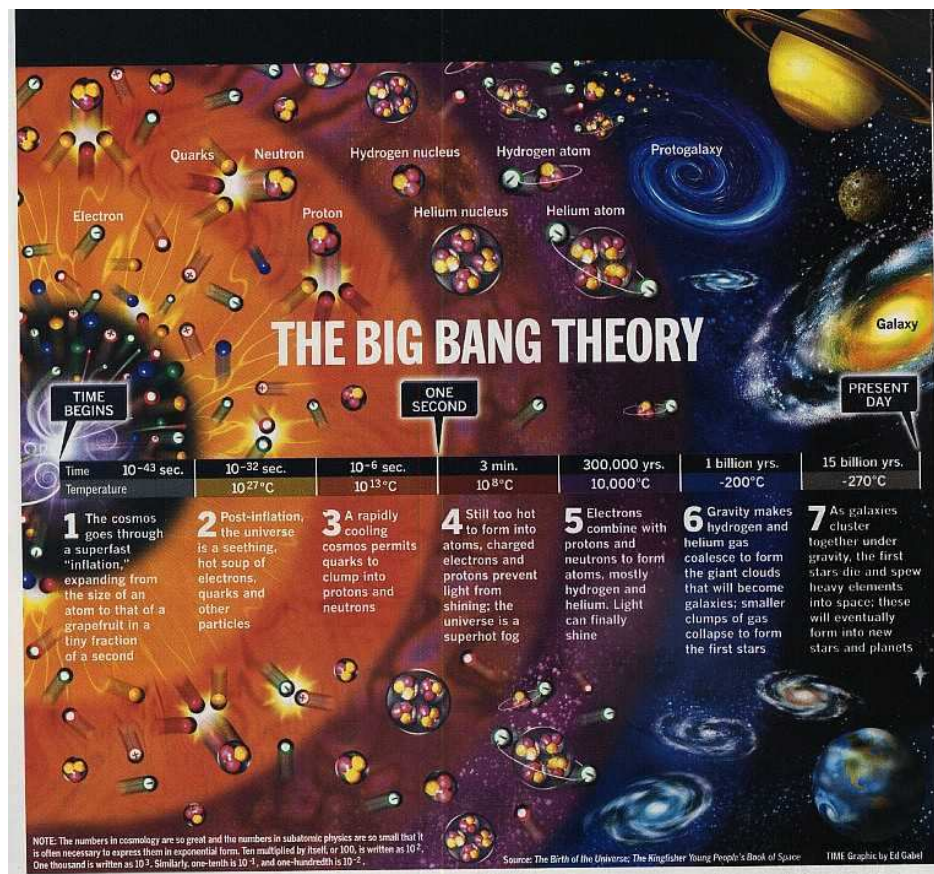


- Prevê que o Universo está em **expansão!**
- Na época em que a relatividade geral foi descoberta acreditava-se que o Universo era **estático!**
- Einstein modifica suas equações para obter um universo estático e para isso introduz a **constante cosmológica!**
- Depois de alguns anos Hubble descobriu que as galáxias estão se afastando de nós e portanto o **Universo está em expansão!**
- Einstein afirma que cometeu o maior erro de sua vida!



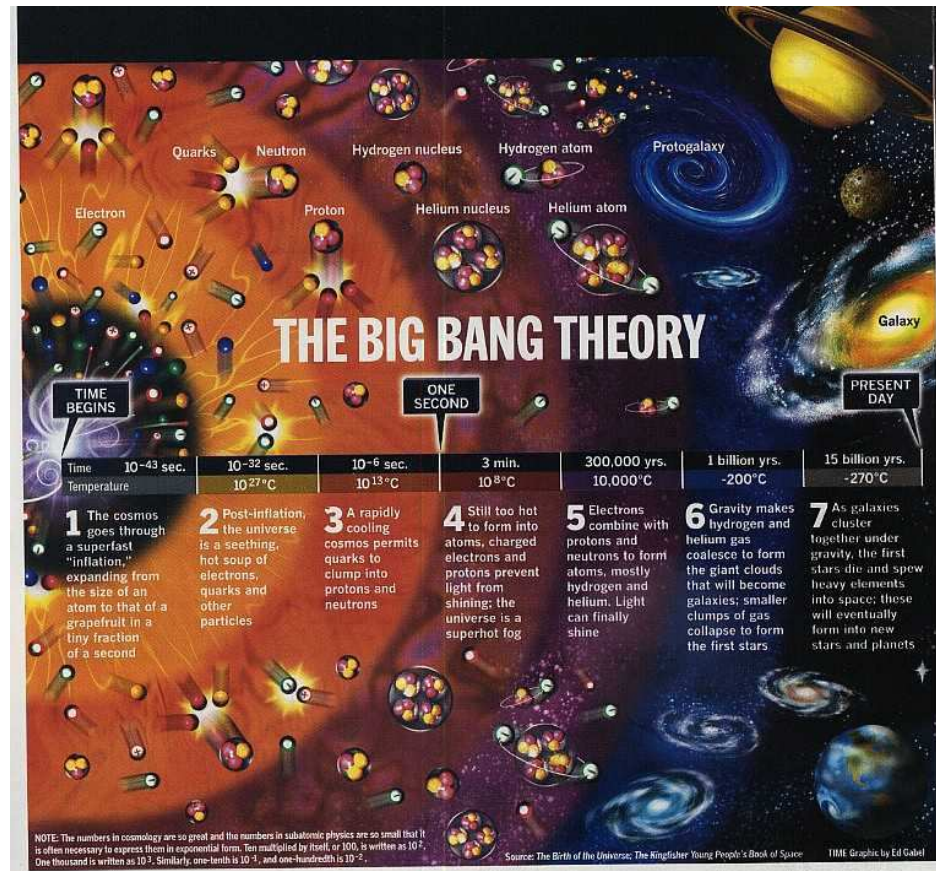
# Cosmologia

- O universo foi gerado num **big bang** que ocorreu a cerca de 13.7 bilhões de anos atrás.



# Cosmologia

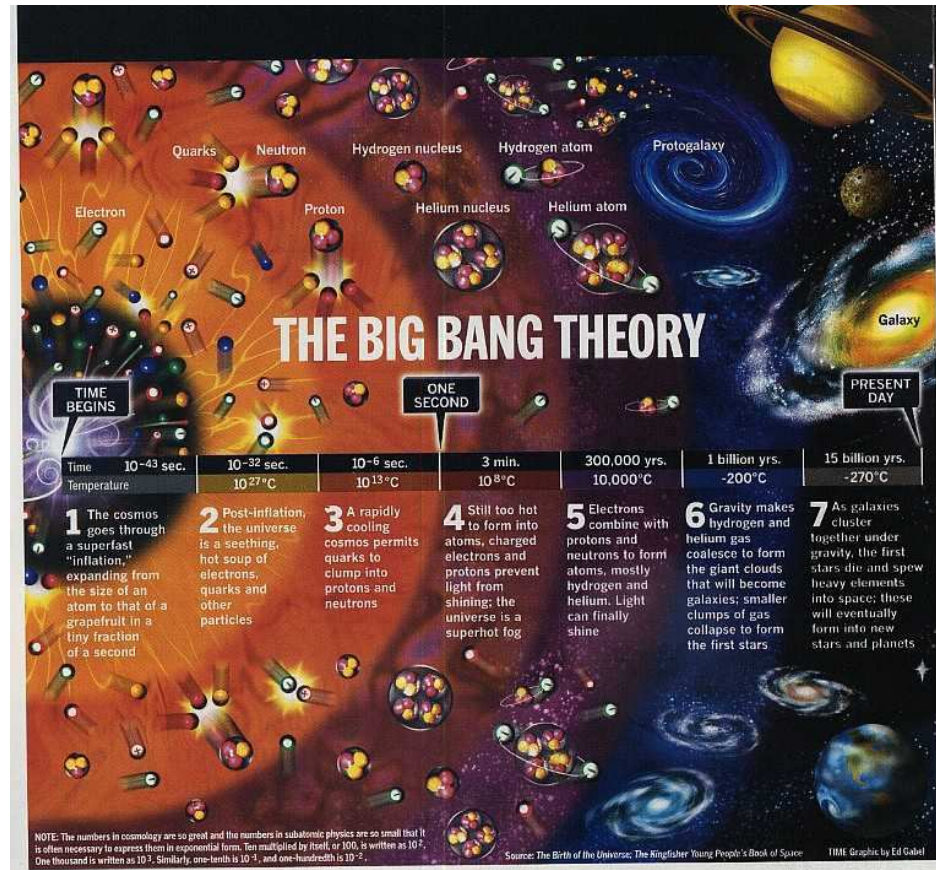
- O universo foi gerado num **big bang** que ocorreu a cerca de 13.7 bilhões de anos atrás.
- Não compreendemos o que aconteceu **NO** big bang, nem se houve algo **antes** do big bang.





# Cosmologia

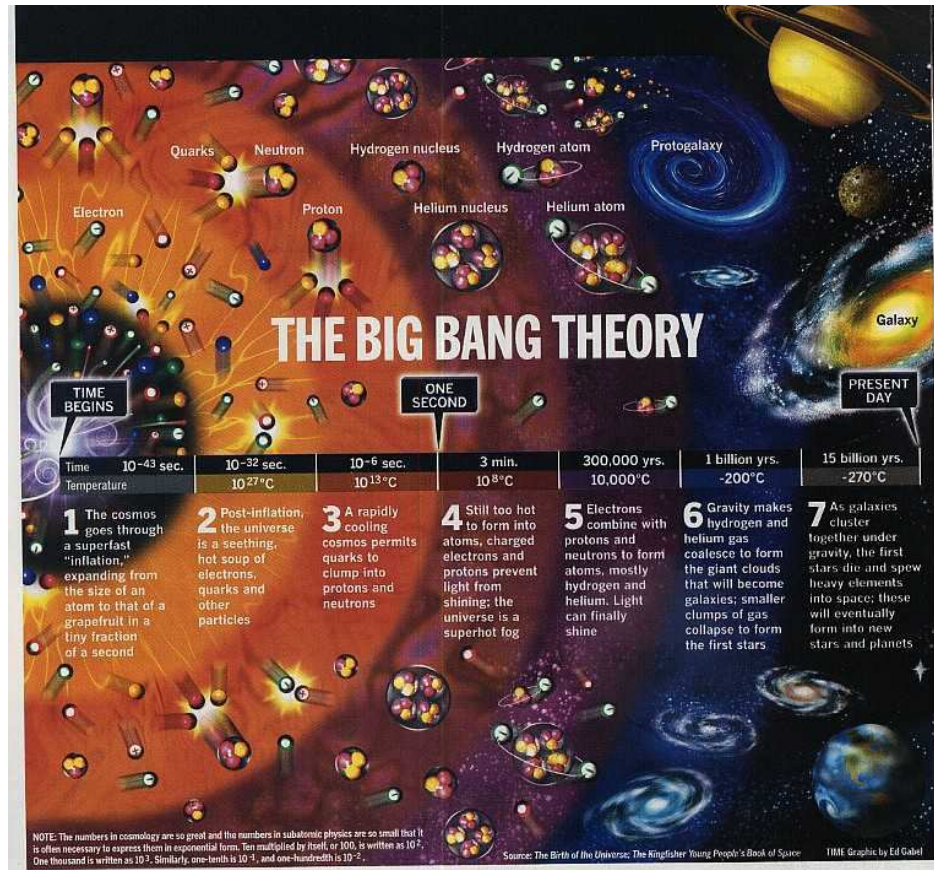
- O universo foi gerado num **big bang** que ocorreu a cerca de 13.7 bilhões de anos atrás.
- Não compreendemos o que aconteceu **NO** big bang, nem se houve algo **antes** do big bang.
- Não existe uma **teoria quântica para a gravitação**.
- Não é possível controlar as **flutuações quânticas** da relatividade geral. É uma teoria **não renormalizável**.





# Cosmologia

- O universo foi gerado num **big bang** que ocorreu a cerca de 13.7 bilhões de anos atrás.
- Não compreendemos o que aconteceu **NO** big bang, nem se houve algo **antes** do big bang.
- Não existe uma **teoria quântica para a gravitação**.
- Não é possível controlar as **flutuações quânticas** da relatividade geral. É uma teoria **não renormalizável**.
- A gravitação (relatividade geral) **NÃO** está incluída no modelo padrão das partículas elementares!!!



- 
- A matéria descrita pelo modelo padrão das partículas elementares corresponde à apenas 4% do conteúdo do Universo.

- 
- A matéria descrita pelo modelo padrão das partículas elementares corresponde à apenas 4% do conteúdo do Universo.
  - Do que é constituído o restante do Universo?

# Matéria Escura

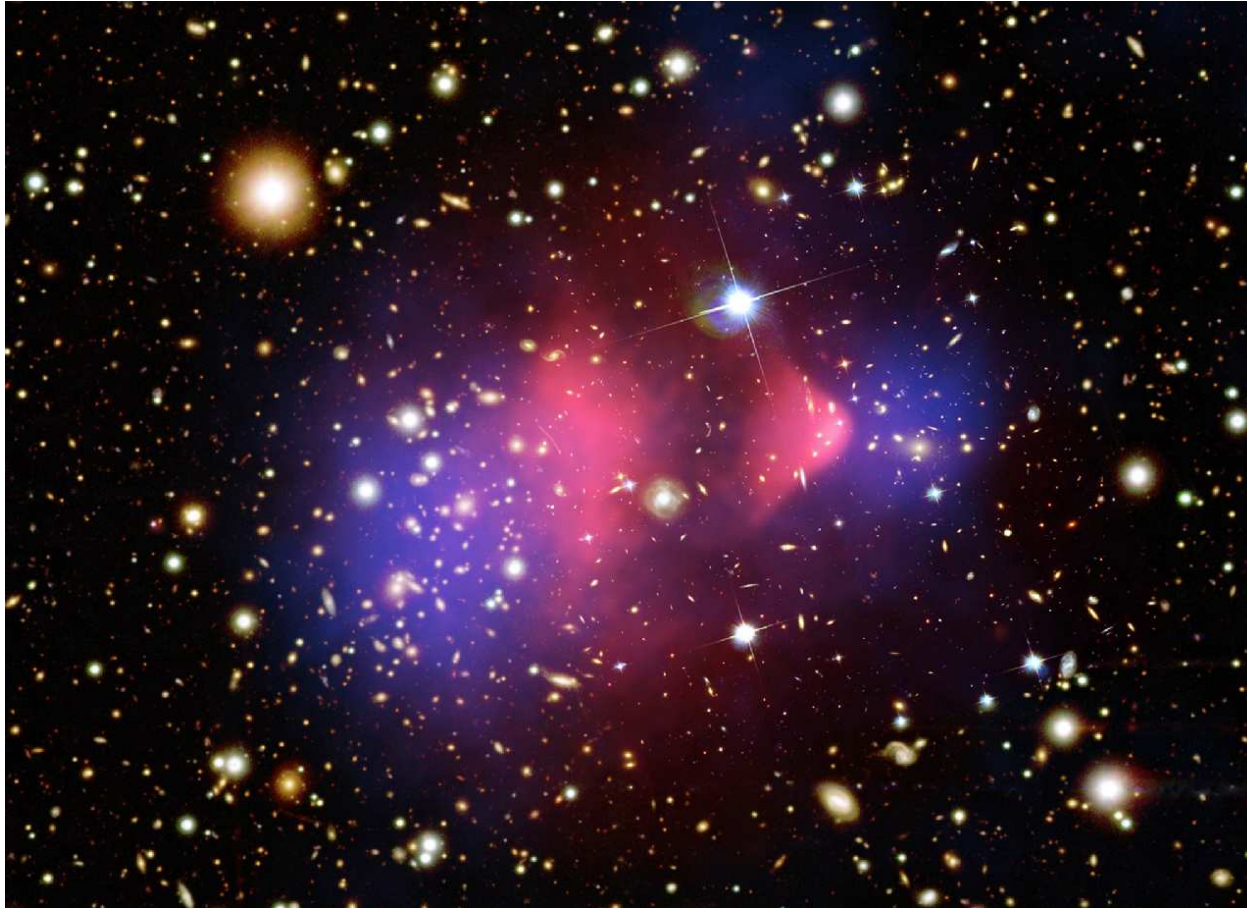
---

- **Matéria escura** não emite e nem reflete a luz.
- É detectada só através de **efeitos gravitacionais**.
- As galáxias parecem ter muito mais massa do que aquela que emite luz.
- A matéria escura constituiu **22%** do conteúdo do universo!!!



# Bullet Cluster

---



Colisão de dois aglomerados de galáxias. Colisão do gás em **vermelho** e a matéria escura em **azul**.

# Energia Escura

---

- **Matéria comum:** 4 %
- **Matéria escura:** 22 %
- **Energia escura:** 74 %

# Energia Escura

---

- **Matéria comum:** 4 %
- **Matéria escura:** 22 %
- **Energia escura:** 74 %
- Forma de energia com pressão negativa que faz o universo **expandir aceleradamente**.

# Energia Escura

---

- **Matéria comum:** 4 %
- **Matéria escura:** 22 %
- **Energia escura:** 74 %
- Forma de energia com pressão negativa que faz o universo **expandir aceleradamente**.
- Detectado na expansão de **super-novas distantes**.



# Energia Escura

---

- **Matéria comum:** 4 %
- **Matéria escura:** 22 %
- **Energia escura:** 74 %
- Forma de energia com pressão negativa que faz o universo **expandir aceleradamente**.
- Detectado na expansão de **super-novas distantes**.
- Pode ser causado por uma **constante cosmológica** na relatividade geral. Valor experimental  $10^{-120} m_P^4$ ,  $m_P$  é a massa de Planck.

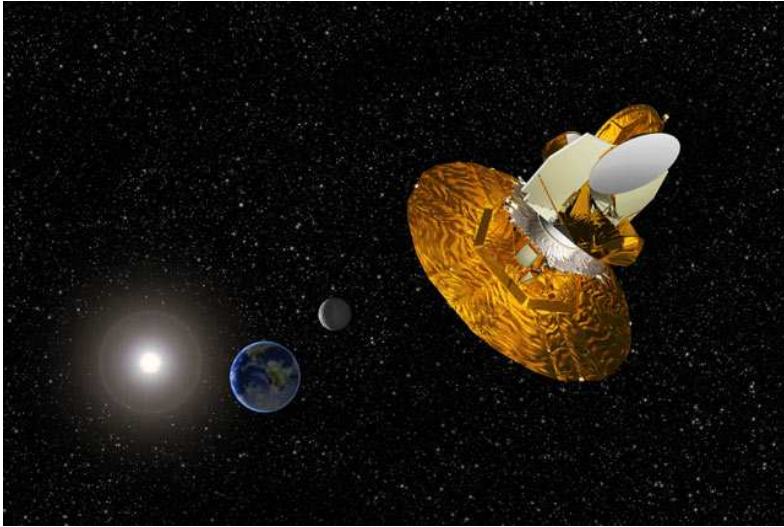
# Energia Escura

---

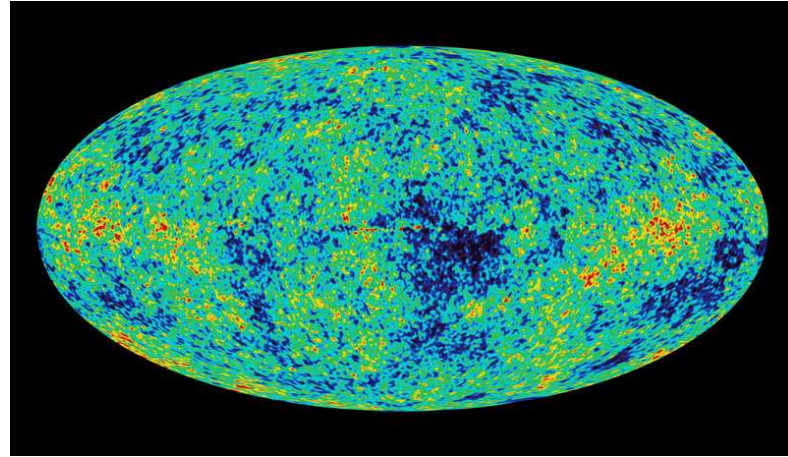
- **Matéria comum:** 4 %
- **Matéria escura:** 22 %
- **Energia escura:** 74 %
- Forma de energia com pressão negativa que faz o universo **expandir aceleradamente**.
- Detectado na expansão de **super-novas distantes**.
- Pode ser causado por uma **constante cosmológica** na relatividade geral. Valor experimental  $10^{-120} m_P^4$ ,  $m_P$  é a massa de Planck.
- Por outro lado, na teoria quântica de campos, o valor esperado para a constante cosmológica, é de  $1 m_P^4$ . Discrepância por um fator de  $10^{120}$  !!! **Problema da constante cosmológica**.

# WMAP

---



Satélite sucessor do COBE: prêmio Nobel de 2006



Mede diferenças de temperatura da radiação cósmica de fundo da ordem de micro Kelvin!

# Teoria de cordas

---

- Proposta mais conservadora: **teoria de cordas**.

# Teoria de cordas

---

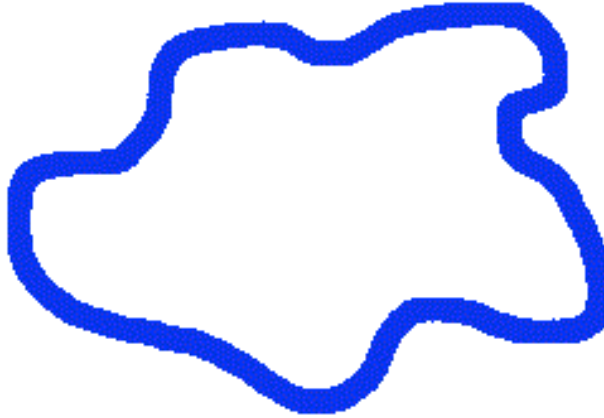
- Proposta mais conservadora: **teoria de cordas**.
- Assume que a **mecânica quântica** e a **relatividade restrita** são válidas.

# Teoria de cordas

---

- Proposta mais conservadora: **teoria de cordas**.
- Assume que a **mecânica quântica** e a **relatividade restrita** são válidas.

Assume que os **objetos fundamentais** são **estendidos** ao invés de pontuais: **CORDAS**.

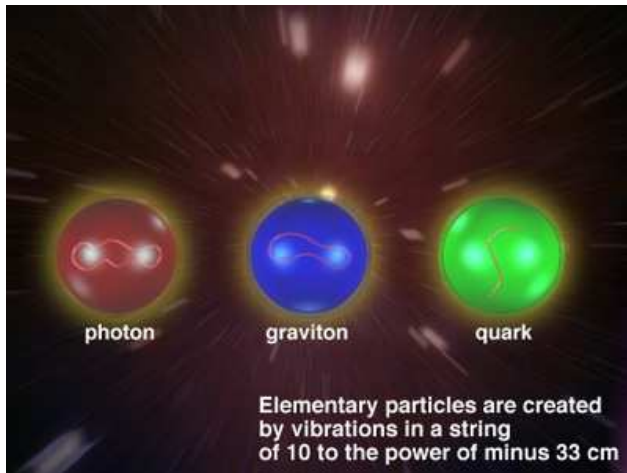
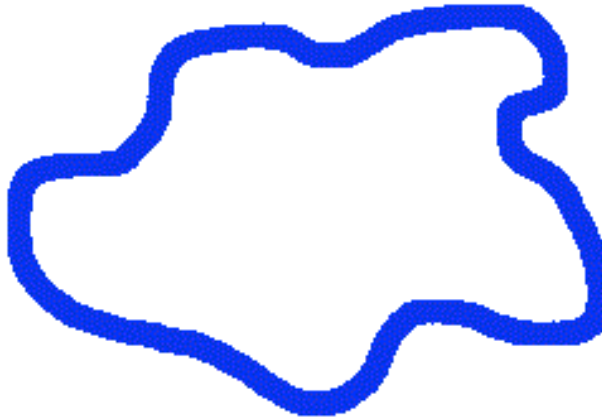


# Teoria de cordas

---

- Proposta mais conservadora: **teoria de cordas**.
- Assume que a **mecânica quântica** e a **relatividade restrita** são válidas.

Assume que os **objetos fundamentais** são **estendidos** ao invés de pontuais: **CORDAS**.

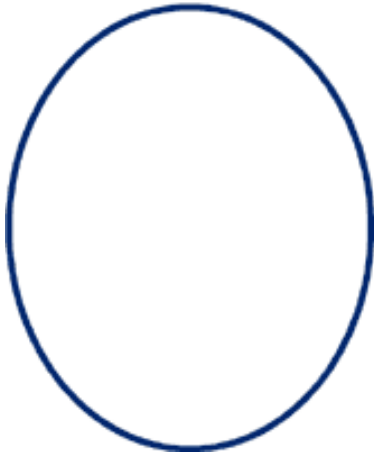


As **partículas elementares** correspondem aos modos de vibração quantizados de uma corda relativística.

# Teoria de cordas

---

closed string



open string



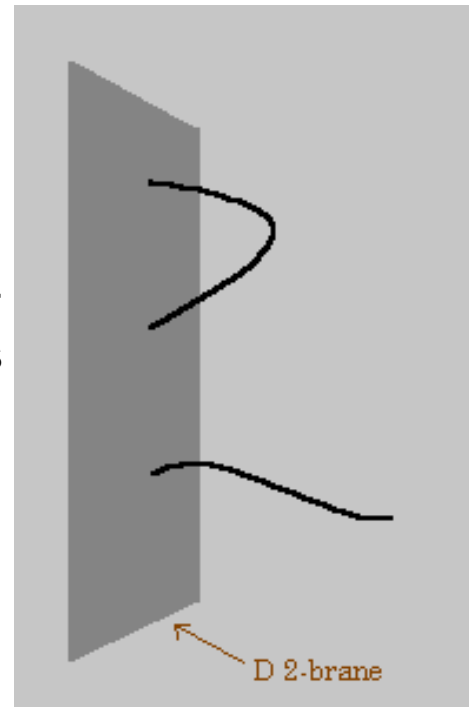
- Cordas **abertas** dão origem aos **bósons de gauge**.
- Cordas **fechadas** dão origem a **gravitação**.



# Teoria de cordas

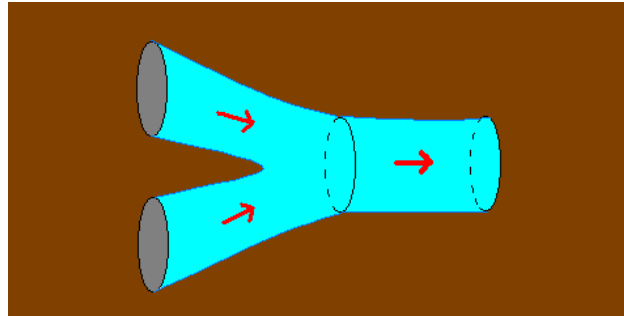
---

Hoje em dia os objetos fundamentais incluem **cordas e membranas** de diversas dimensões: **p-branas**.

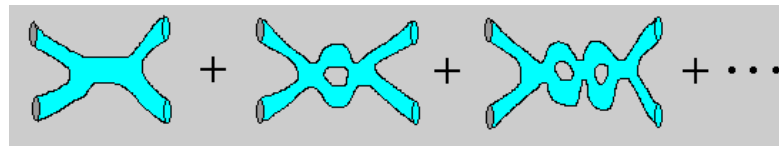


# Teoria de Cordas

---



As cordas podem interagir entre si.



Pode-se fazer uma expansão perturbativa

# Consequências

---

- Obtém-se uma teoria da gravitação quântica!

# Consequências

---

- Obtém-se uma teoria da gravitação quântica!
- Explica a entropia de certas classes de buracos negros.

# Consequências

---

- Obtém-se uma teoria da gravitação quântica!
- Explica a entropia de certas classes de buracos negros.
- Obtém-se uma teoria que estende o modelo padrão das partículas elementares !

# Consequências

---

- Obtém-se uma teoria da gravitação quântica!
- Explica a entropia de certas classes de buracos negros.
- Obtém-se uma teoria que **estende o modelo padrão das partículas elementares !**
- Consistência requer a existência de **novas simetrias: supersimetria**. Pode ser detectada no LHC em 2008

# Consequências

---

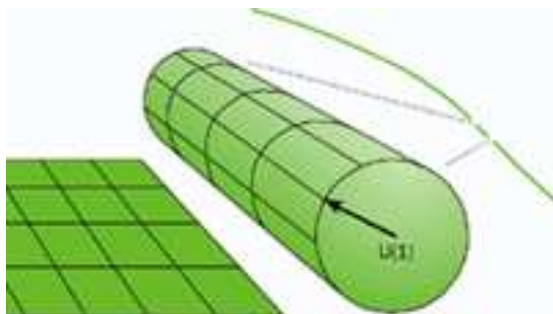
- Obtém-se uma teoria da gravitação quântica!
- Explica a entropia de certas classes de buracos negros.
- Obtém-se uma teoria que **estende o modelo padrão das partículas elementares !**
- Consistência requer a existência de **novas simetrias: supersimetria**. Pode ser detectada no LHC em 2008
- Consistência requer a existência de **dimensões extras**.



# Consequências

---

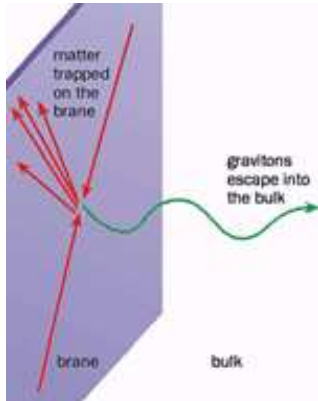
- Obtém-se uma teoria da gravitação quântica!
- Explica a entropia de certas classes de buracos negros.
- Obtém-se uma teoria que **estende o modelo padrão das partículas elementares !**
- Consistência requer a existência de **novas simetrias: supersimetria**. Pode ser detectada no LHC em 2008
- Consistência requer a existência de **dimensões extras**.



- A **dimensionalidade do espaço-tempo** passou a ser algo que deve ser **determinado experimentalmente!**
- Experiências com balança de torção: **< 44 micrometros**.
- LHC poderá detecta-las em 2008.

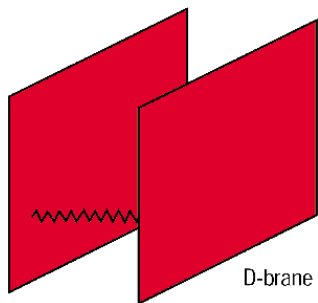
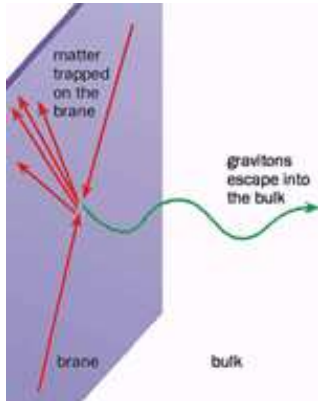
# Branas

---



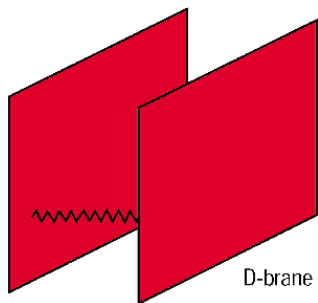
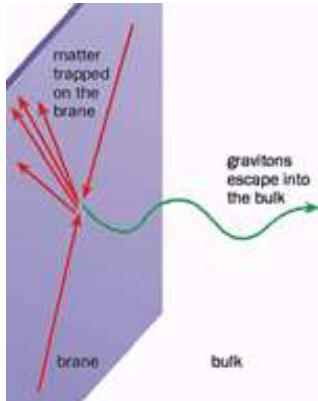
- Nosso universo pode ser uma **brana imersa em 10 dimensões.**
- Dimensões extras grandes: gravitação propaga-se em todas as dimensões.

# Branas



- Nosso universo pode ser uma **brana imersa em 10 dimensões.**
- Dimensões extras grandes: gravitação propaga-se em todas as dimensões.
- Duas branas, numa a gravitação é forte e noutra é fraca.
- **Grávitons poderiam ser produzidos no LHC.**

# Branas

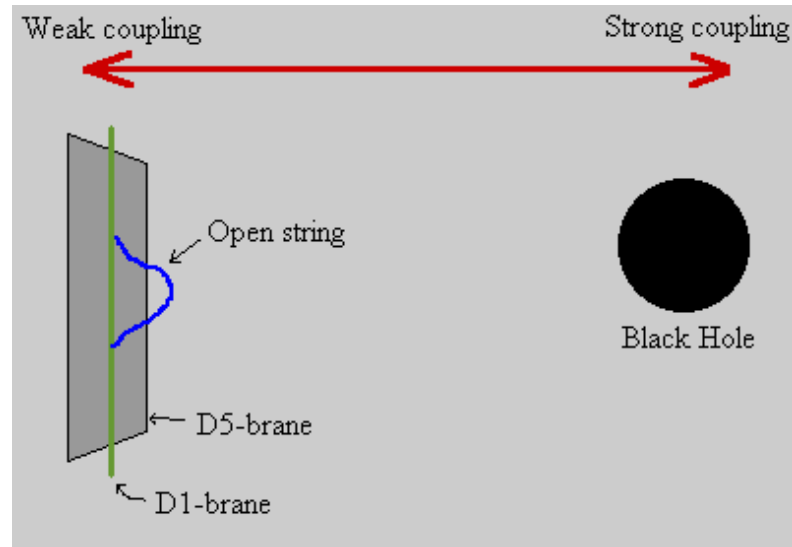


- Nosso universo pode ser uma **brana imersa em 10 dimensões**.
- Dimensões extras grandes: gravitação propaga-se em todas as dimensões.
- Duas branas, numa a gravitação é forte e noutra é fraca.
- **Grávitons poderiam ser produzidos no LHC.**

Se a escala de Planck estiver na região de TeV, o LHC poderia produzir **buracos negros**, o que permitiria estudar a **gravitação quântica**.

# Buracos negros

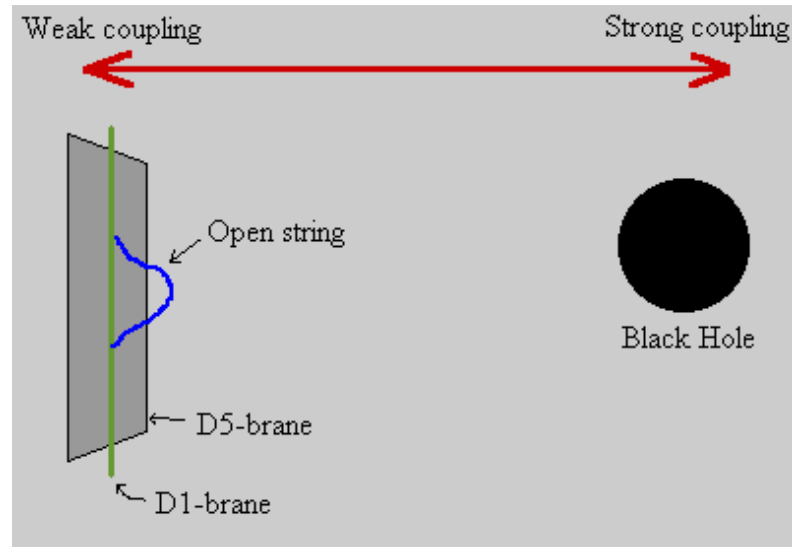
---



- Alguns buracos negros podem ser descritos como uma configuração de cordas e branas fracamente acoplados.

# Buracos negros

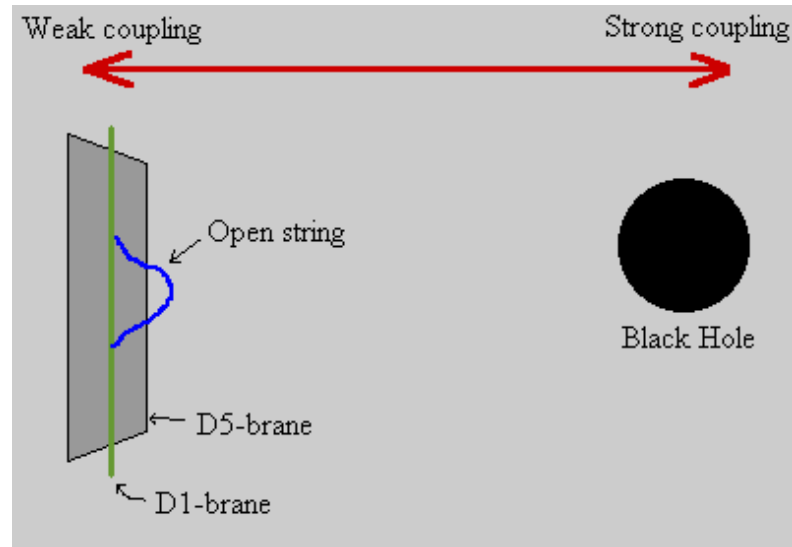
---



- Alguns **buracos negros** podem ser descritos como uma configuração de cordas e branas fracamente acoplados.
- A **entropia** assim calculada fornece o mesmo valor que a entropia de Bekenstein-Hawking.

# Buracos negros

---



- Alguns buracos negros podem ser descritos como uma configuração de cordas e branas fracamente acoplados.
- A entropia assim calculada fornece o mesmo valor que a entropia de Bekenstein-Hawking.
- Mas não existe uma descrição análoga para o big-bang!

# Mais informações

---

- [O Discreto Charme das Partículas Elementares](#), M.C.Batoni Abdalla, (UNESP, 2004)
  - [O Universo Numa Casca de Noz](#), S. Hawking (Mandarim, 2001)
  - [O Universo Elegante](#), B. Greene (Cia. das Letras, 2001)
  - [A Dança do Universo](#), M. Gleiser (Cia. das Letras, 1997)
-



# Mais informações

---

- [O Discreto Charme das Partículas Elementares](#), M.C.Batoni Abdalla, (UNESP, 2004)
  - [O Universo Numa Casca de Noz](#), S. Hawking (Mandarim, 2001)
  - [O Universo Elegante](#), B. Greene (Cia. das Letras, 2001)
  - [A Dança do Universo](#), M. Gleiser (Cia. das Letras, 1997)
- 
- [Wikipedia, The Free Encyclopedia](http://en.wikipedia/wiki/Main_Page), [http://en.wikipedia/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia/wiki/Main_Page)
  - [Wikipedia, A Enciclopédia Livre](http://pt.wikipedia/wiki/Página_Principal), [http://pt.wikipedia/wiki/Página\\_Principal](http://pt.wikipedia/wiki/Página_Principal)
  - [New Scientist](http://www.newscientist.com/news.ns), <http://www.newscientist.com/news.ns>
  - [Jornal da Ciência](http://www.jornaldaciencia.org.br/index2.jsp), <http://www.jornaldaciencia.org.br/index2.jsp>
-

# Mais informações

---

- [O Discreto Charme das Partículas Elementares](#), M.C.Batoni Abdalla, (UNESP, 2004)
  - [O Universo Numa Casca de Noz](#), S. Hawking (Mandarim, 2001)
  - [O Universo Elegante](#), B. Greene (Cia. das Letras, 2001)
  - [A Dança do Universo](#), M. Gleiser (Cia. das Letras, 1997)
- 
- [Wikipedia, The Free Encyclopedia](#), [http://en.wikipedia/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia/wiki/Main_Page)
  - [Wikipedia, A Enciclopédia Livre](#), [http://pt.wikipedia/wiki/Página\\_Principal](http://pt.wikipedia/wiki/Página_Principal)
  - [New Scientist](#), <http://www.newscientist.com/news.ns>
  - [Jornal da Ciência](#), <http://www.jornaldaciencia.org.br/index2.jsp>
- 
- <http://www.fma.if.usp.br/~rivelles/>
  - <http://rivelles.blogspot.com>
  - [A Teoria de Cordas e a Unificação das Forças da Natureza](#), V.O. Rivelles, a ser publicado em [A Física na Escola](#)