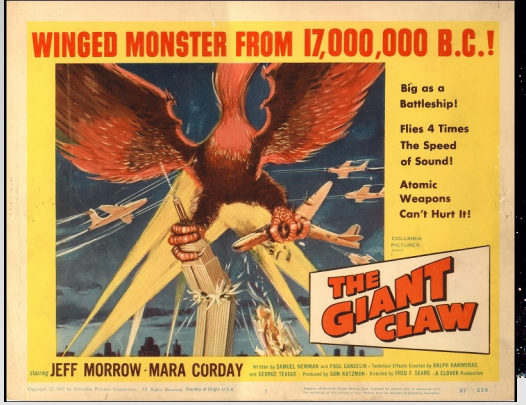
# Matéria versus Antimatéria

*Ignacio Bediaga:*

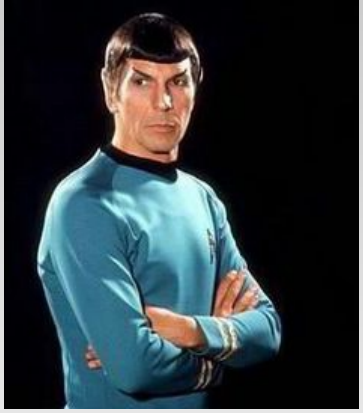
*Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas*

# Antimatéria na ficção científia



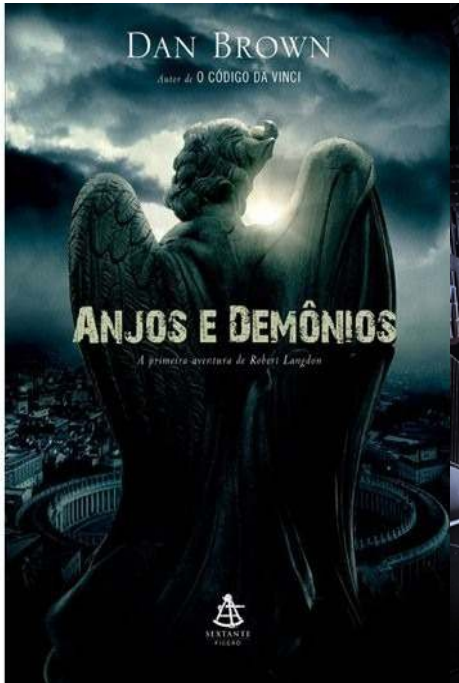

La Carcaña

Discovery combustível



Spock Espelho

Sindicato do Crime da América-
Universo da Antimatéria



symmetry
dimensions of particle physics

topics

follow +

A joint Fermilab/SLAC publication

# Antimatter from bananas

07/23/09

"The average banana (rich in potassium) produces a positron roughly once every 75 minutes."

# O que é a Antimatéria?

# Matéria espelhada

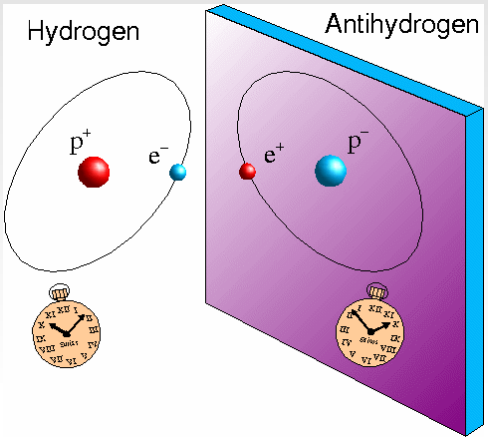
Foto: José Neto, em colaboração para o GpexDC-Uniso*,

publicada na 1ª edição da revista Uniso Ciência (junho/2018),

http://uniso.br/unisociencia/

*Grupo de produção experimental em Divulgação Científica da Universidade de Sorocaba

Espelho que muda a carga da partícula




Demais propriedades idênticas

- Massa
- Tempo de vida
- Intensidades das forças:
- Eletromagnética
- Forte
- Fraca
- Gravitacional

# Matéria espelhada

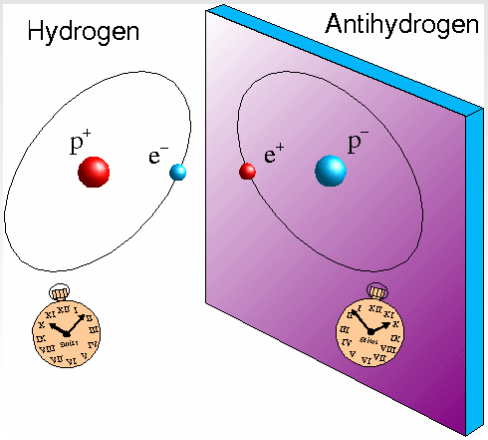
Foto: José Neto, em colaboração para o GpexDC-Uniso*,

publicada na 1ª edição da revista Uniso Ciência (junho/2018),

http://uniso.br/unisociencia/

*Grupo de produção experimental em Divulgação Científica da Universidade de Sorocaba

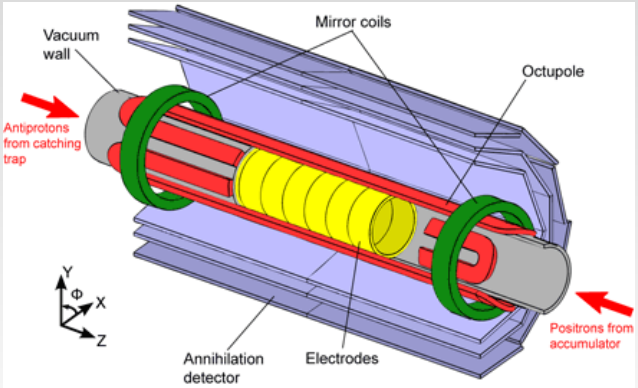
Espelho que muda a carga da partícula

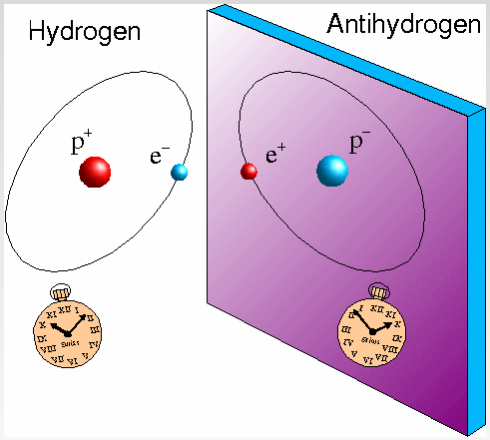


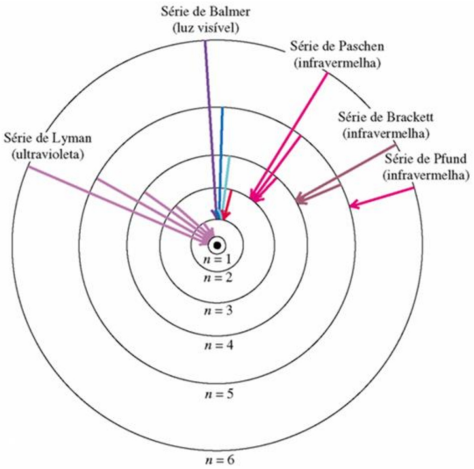

Demais propriedades idênticas

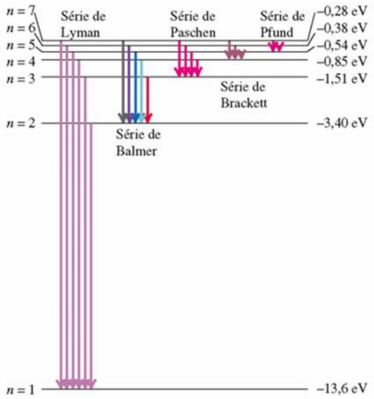
- Massa
- Tempo de vida
- Intensidades das forças:
- Eletromagnética
- Forte
- Fraca
- Gravitacional

# Anti-Hidrogênio



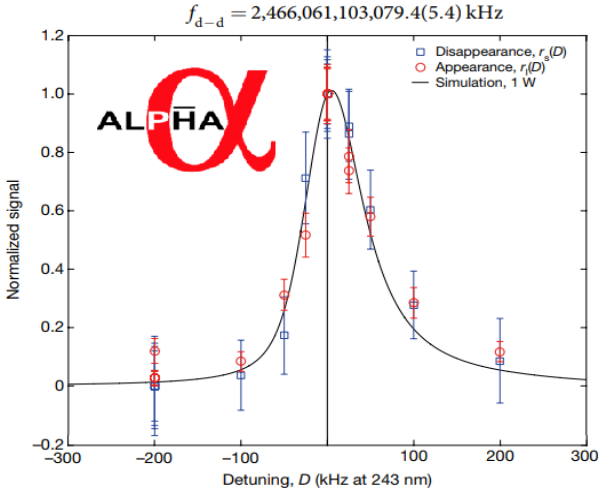



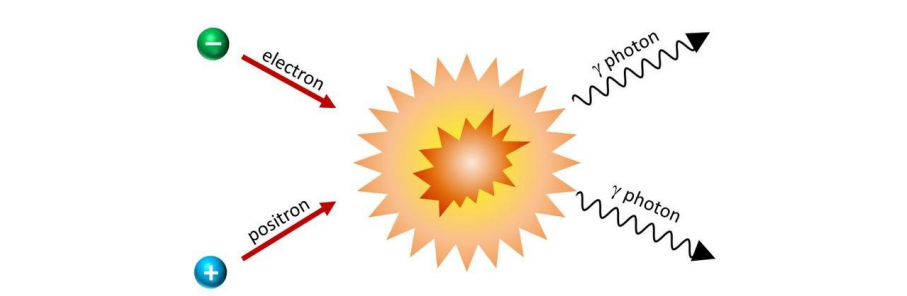




Frequência do hidrogeneo

$f_{d-d}$=2,466,061,103,080.3(0.6)kHz

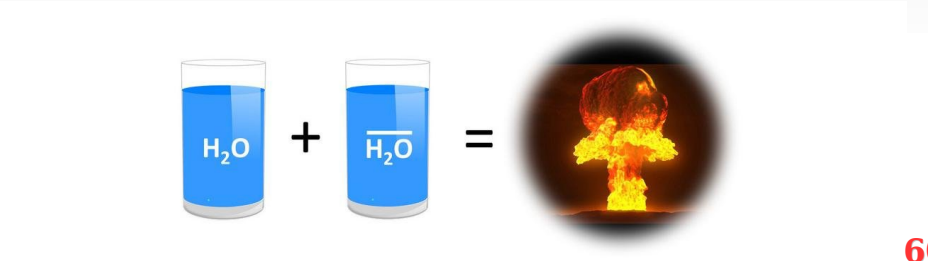


# E se uma partícula se encontra com sua anti-partícula???




$$
\begin{aligned}
E &= mc^2\sqrt{1+(p^2/m^2c^2)} \\
&= mc^2\left(1+\frac{1}{2}\frac{p^2}{m^2c^2}+\cdots\right) \\
&= mc^2+\frac{1}{2}mv^2+\cdots
\end{aligned}
$$

$$E_{eletron} + E_{positron} = E_{\gamma 1} + E_{\gamma 1}$$

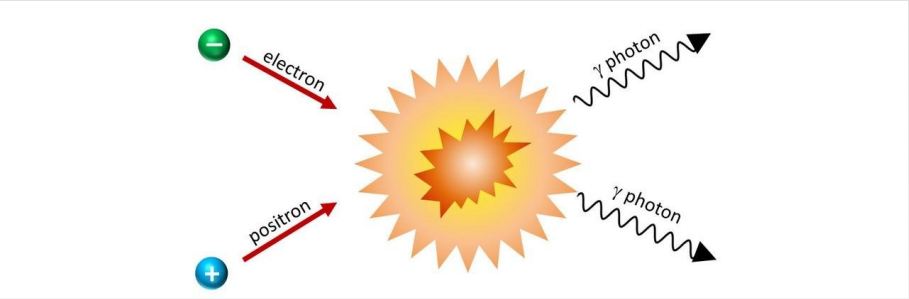



$$E = mc^2 = 0.500 \times (2.998 \times 10^8)^2$$

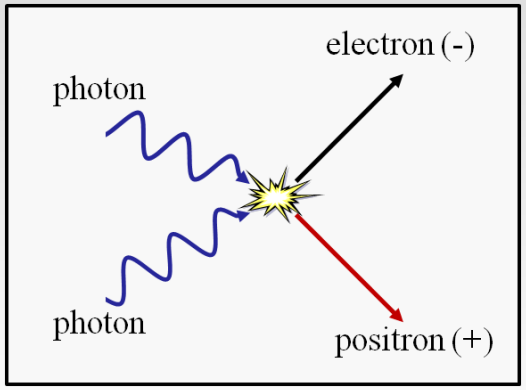
$$E = 4.49 \times 10^{16}\, Joules \approx 45000\, TeraJoules$$

**600 vezes mais energia que a bomba de Hiroshima**

# Reversão Temporal



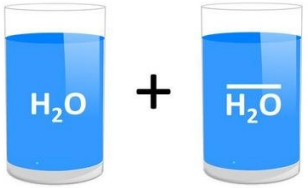

$\Leftrightarrow$




$$E_{eletron} + E_{positron} = E_{\gamma 1} + E_{\gamma 1}$$

$$E_{\gamma 1} + E_{\gamma 1} = E_{eletron} + E_{positron}$$

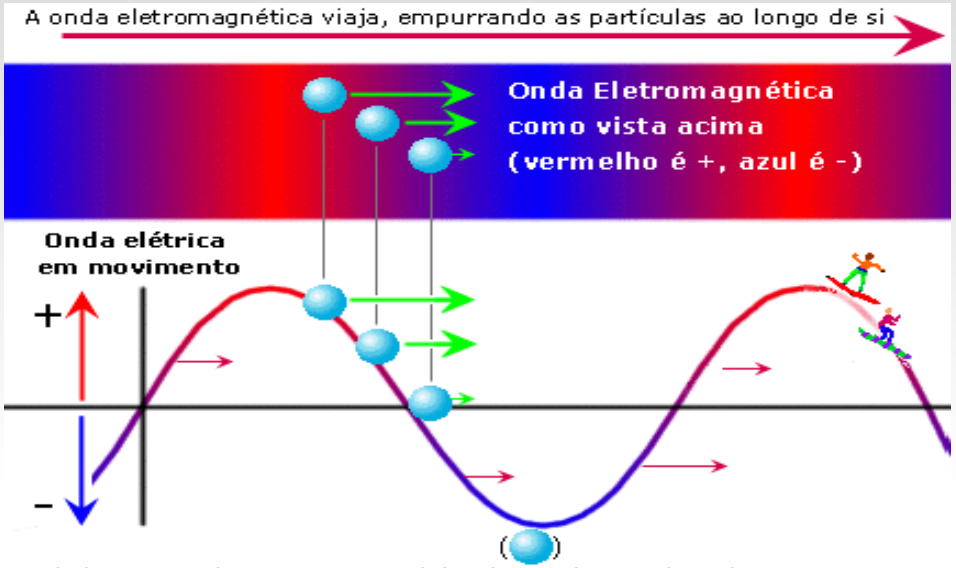
$\not\Leftrightarrow$




**Simetria valida exclusivamente para interações com poucos corpos**

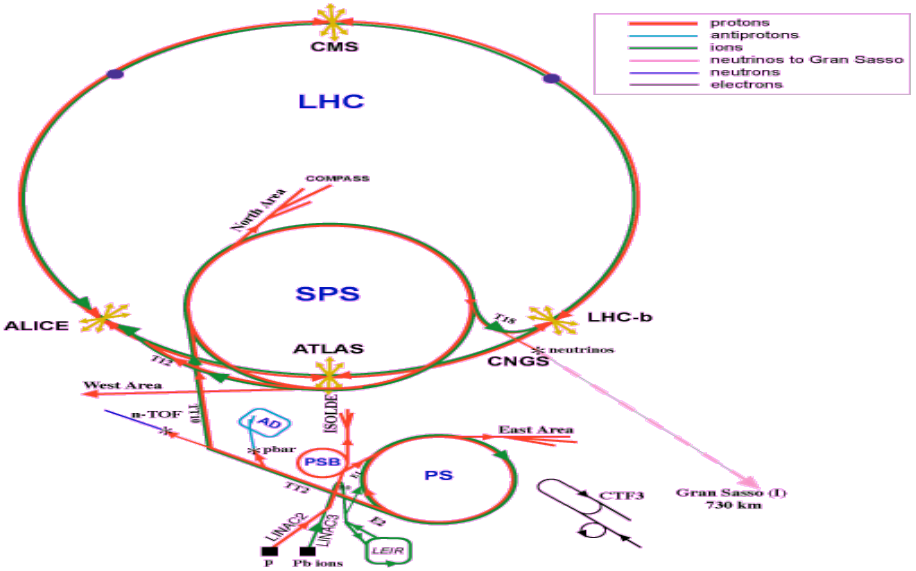
# Acelerador de partículas

- *Campos elétricos aceleram prótons*

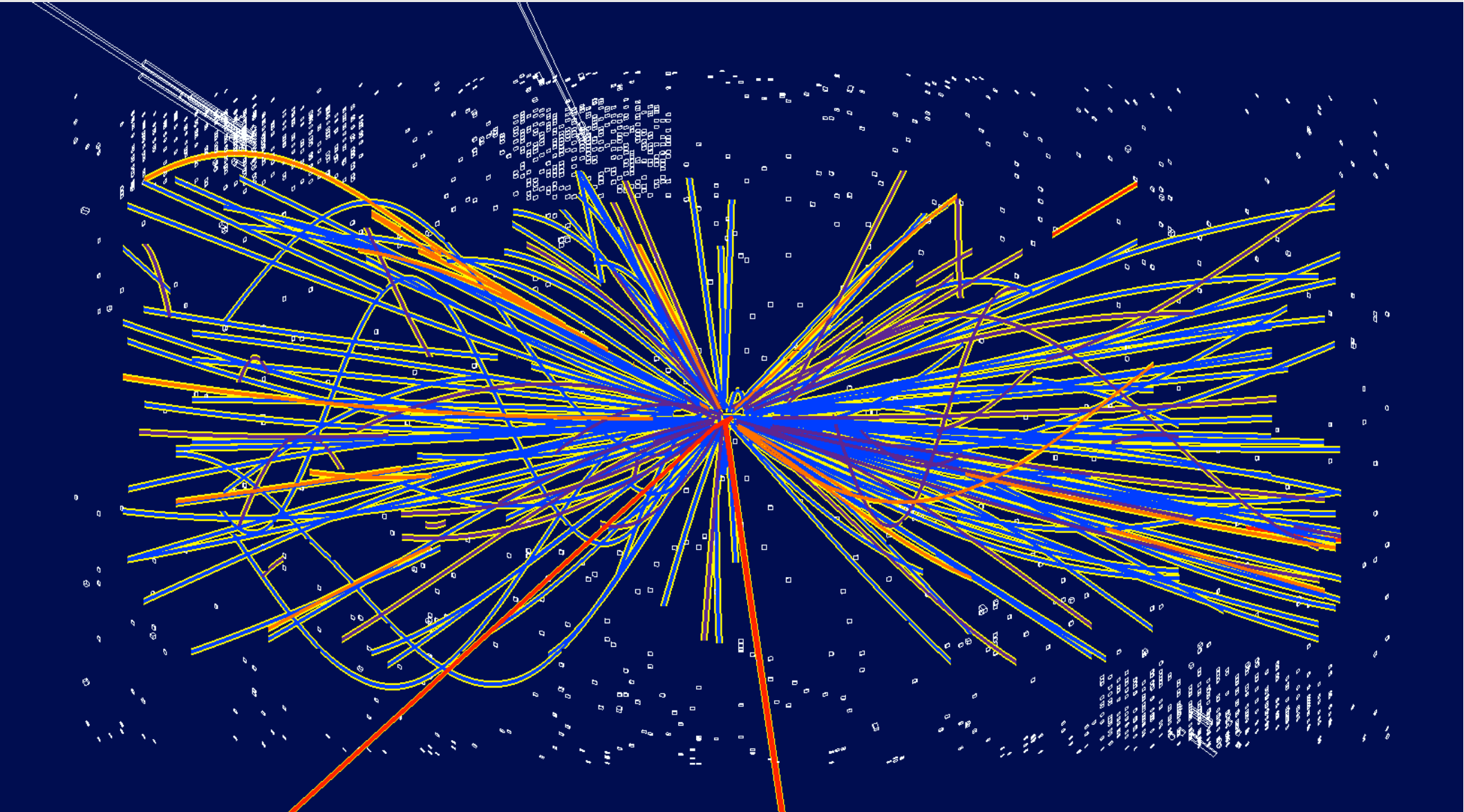



Partículas carregadas positivamente (O) próximas à crista da onda E-M experimentam uma força (maior) para a frente; as mais próximas do centro experimentam a menor força. O resultado é que as partículas tendem a se mover junto com a onda.

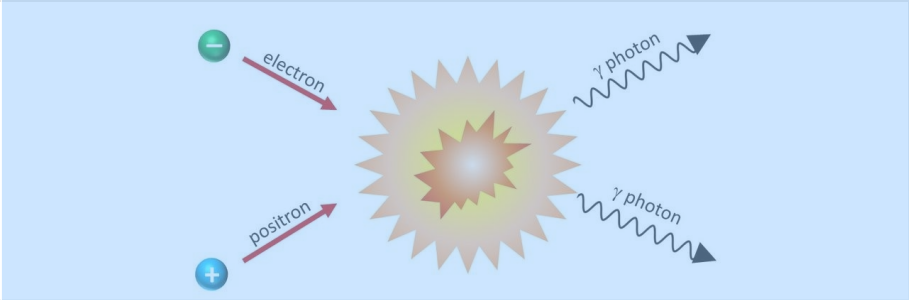
- *Campos Magnéticos fazem circular os prótons*



# Colisão e criação de matéria
# Energia → massa

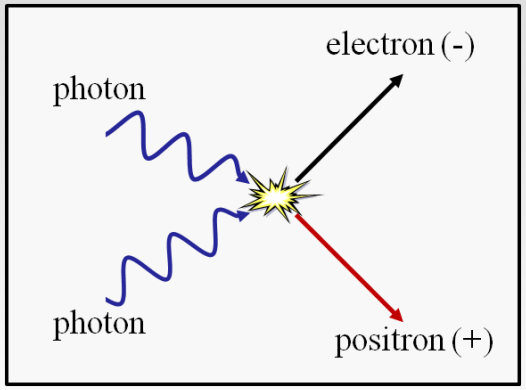


# Reversão Temporal




$$E_{eletron} + E_{positron} = E_{\gamma 1} + E_{\gamma 1}$$

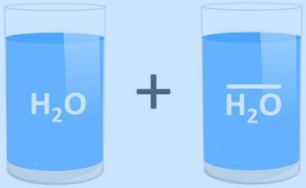
⇔




$$E_{\gamma 1} + E_{\gamma 1} = E_{eletron} + E_{positron}$$

Para cada partícula criada, uma antipartícula correspondente é criada simultaneamente.

$\not\Leftrightarrow$



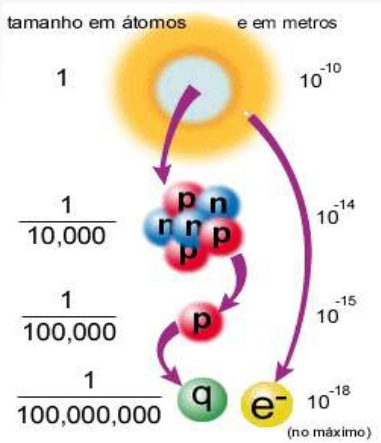

**Simetria valida exclusivamente para interações com poucos corpos**

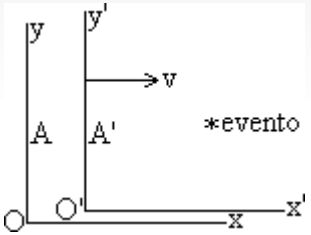
# Descoberta da Anti-partícula

# Gedankenexperiment
# Equação de Dirac (1928)

**Erwin Schrodinger e Werner Heisenberg: Mecânica Quântica.**

**Einstein: Relatividade**




**Equação de Dirac para um elétron relativístico**

$$(i\gamma^{\mu}\partial_{\mu}-m)\psi=0$$

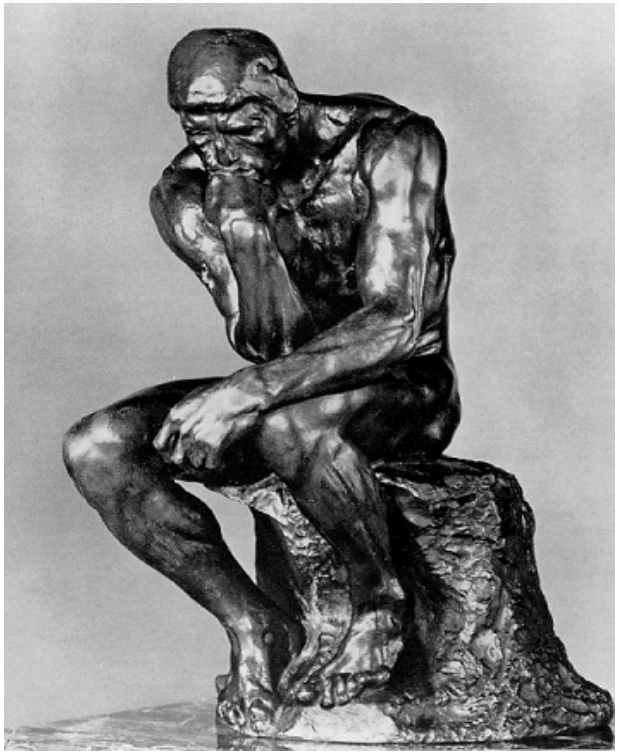
# ***Pósitron ou anti-elétron***

A solução desta equação é da forma:

$E^2 = m^2 C^4$, ou seja E pode ser tanto $+ mc^2$ como $- mc^2$ .

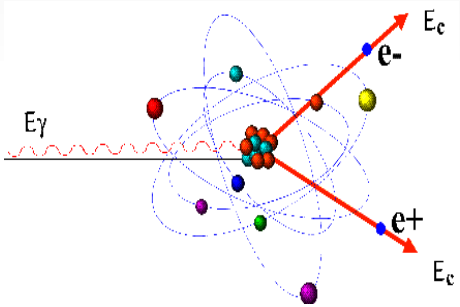
Energia negativa ou anti-partícula?????

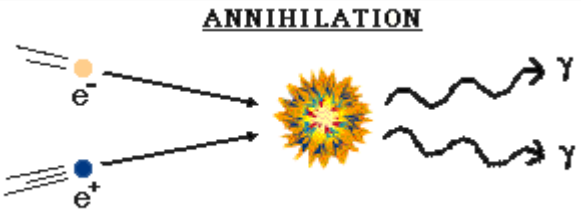
**Três anos pensando**
**até decidir:**
**anti-partícula!!!**



# *Pósitron ou anti-elétron*

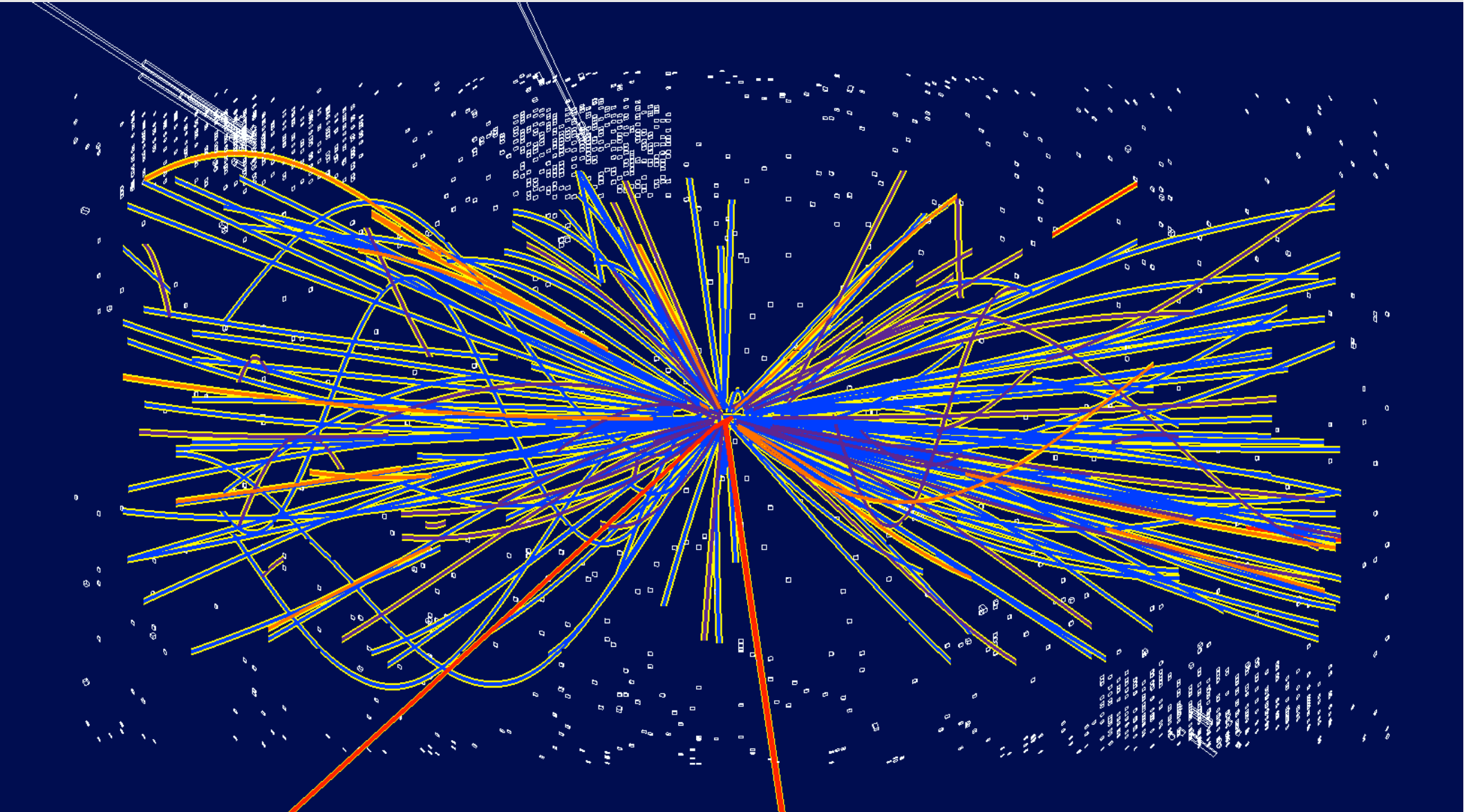
**1932 – Descoberta do pósitron ou anti-elétron, mesma massa do elétron, mas com carga positiva.**



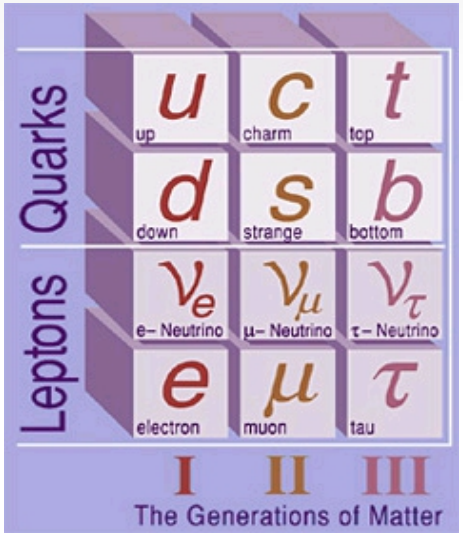

**1955 – Descoberta do anti-próton, mesma massa do próton, mas com carga negativa.**

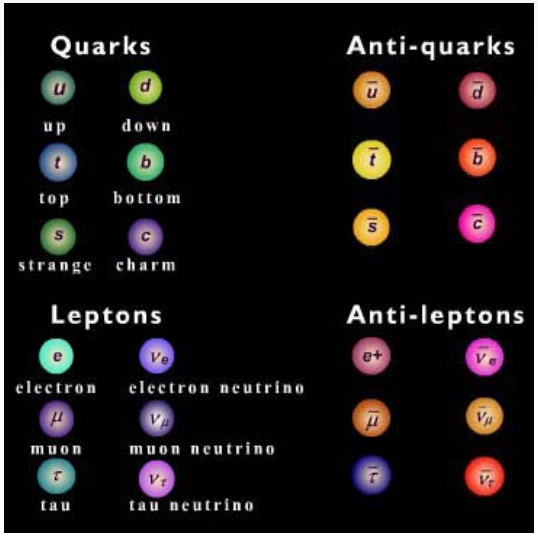
***Em todas as colisões realizadas até hoje, para cada partícula produzida, é produzida uma antipartícula correspondente***



# Anti-Partículas

**Para cada partícula de matéria temos outra de anti-matéria**



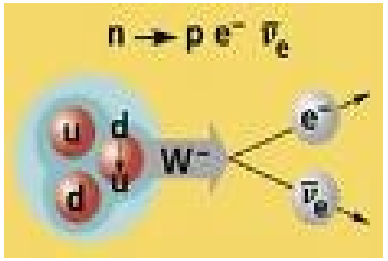



# As Forças da Natureza

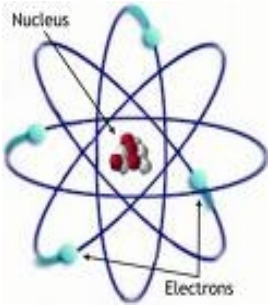
***Existem quatro forcas fundamentais na Natureza***

***Gravitacional***

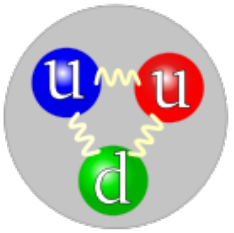
***Fraca***




***Eletromagnética***

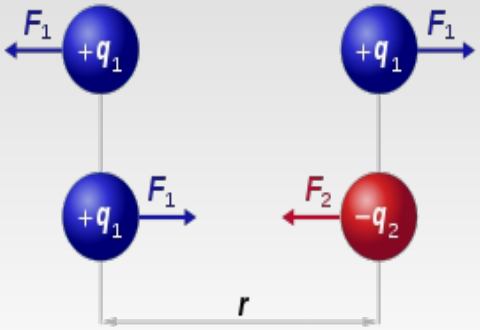



***Forte***



# Ação de forças a distância

*Lei de Coulomb:*

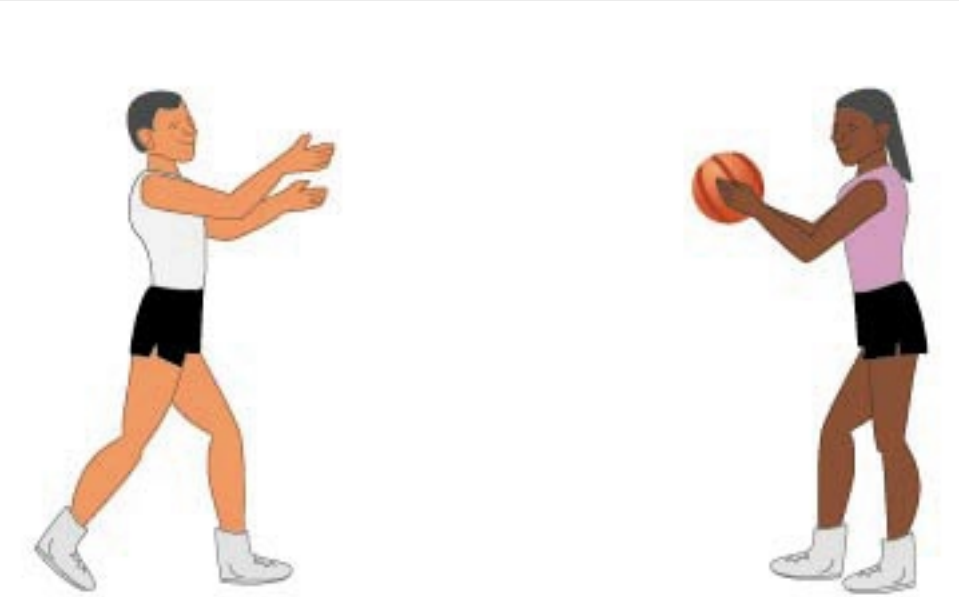



$$F_1 = F_2 = k_c \frac{q_1 \times q_2}{r^2}$$

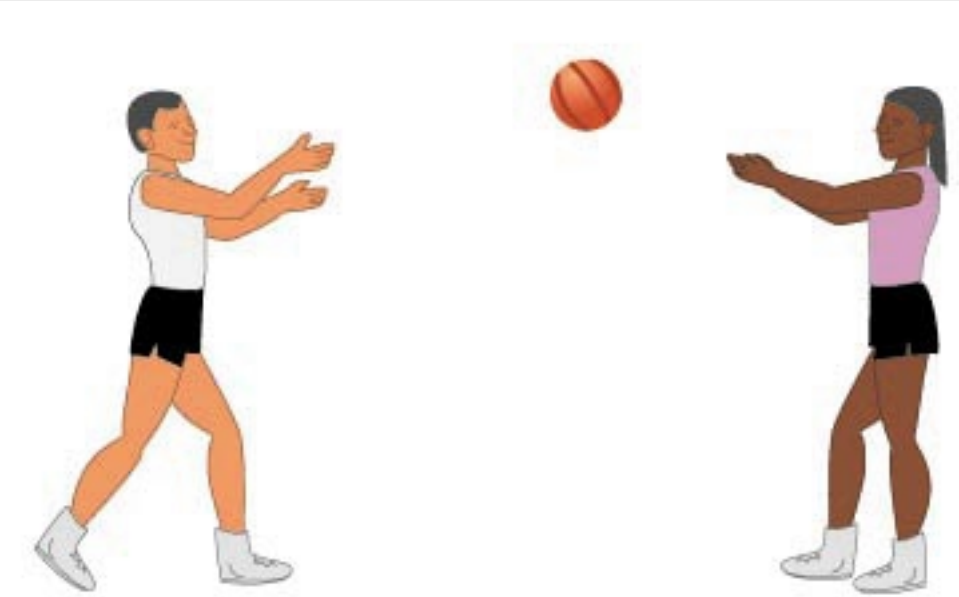
*Atração e repulsão entre dois imãs*

## Como se transmite a força?

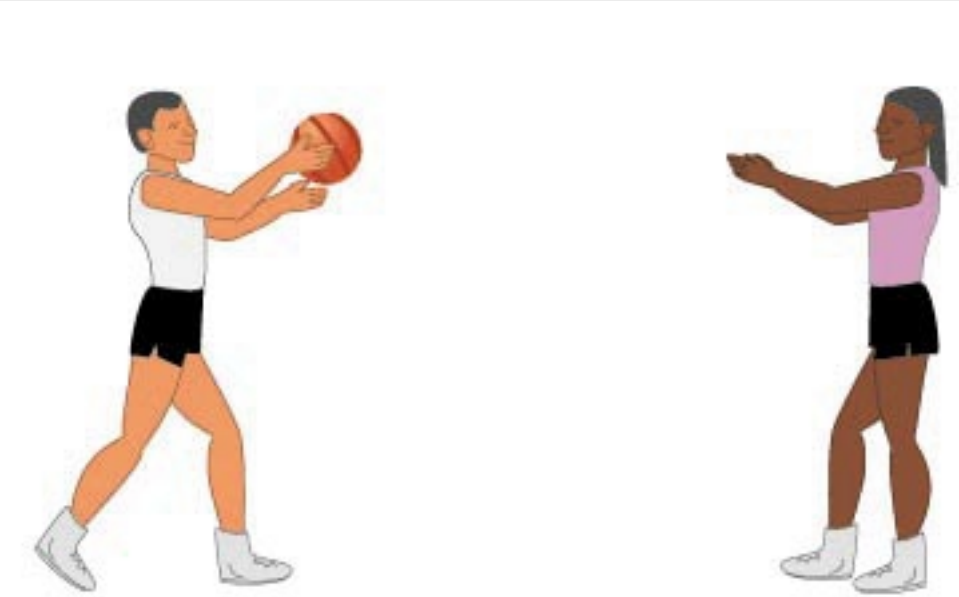
# ***Como se transmitem as forças?***



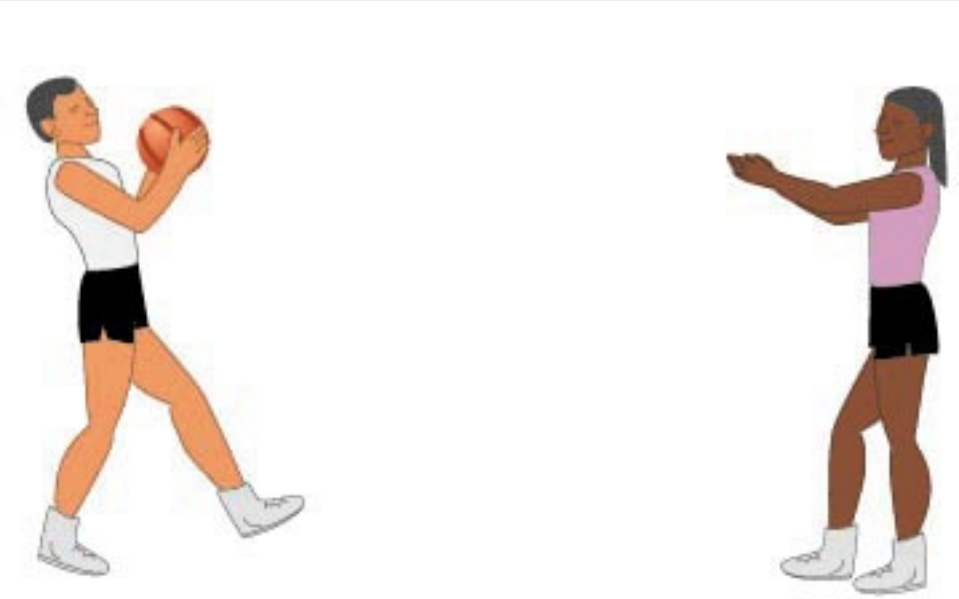
# ***Como se transmitem as forças?***



# ***Como se transmitem as forças?***

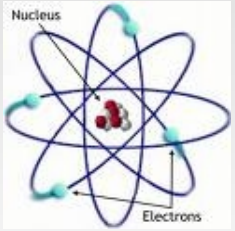


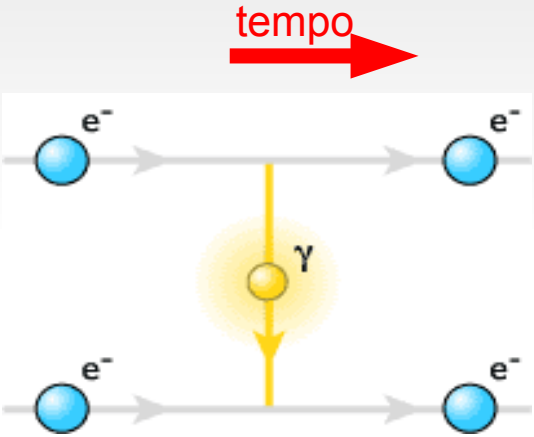
# ***Como se transmitem as forças?***



As força se transmitem através da troca de partículas.
Que partículas?

# ***Como se transmitem as forças? Eletromagnética***

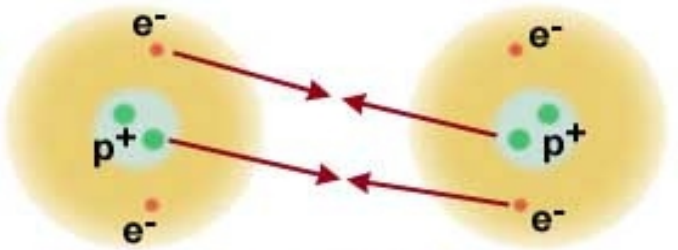



## Fóton γ:

Atua em todas as partícula que possuam carga elétrica.

Responsável pelo atrito, o magnetismo, a coesão das moléculas e etc.




Força residual E-M em ação: Os átomos são eletricamente neutros, mas os elétrons de um são atraidos pelos prótons do outro, e vice - versa!

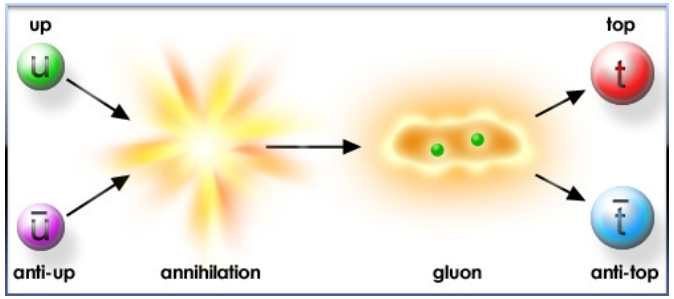
# ***Como se transmitem as forças?***
# ***Forte***

Núcleo:
Prótons e
Nêutrons

Eletromagnética repulsiva

Residual forte atrativa

Força forte, tem
carga de cor e é
transmitida pelo
***Glúon g***




Outra interação básicas da natureza

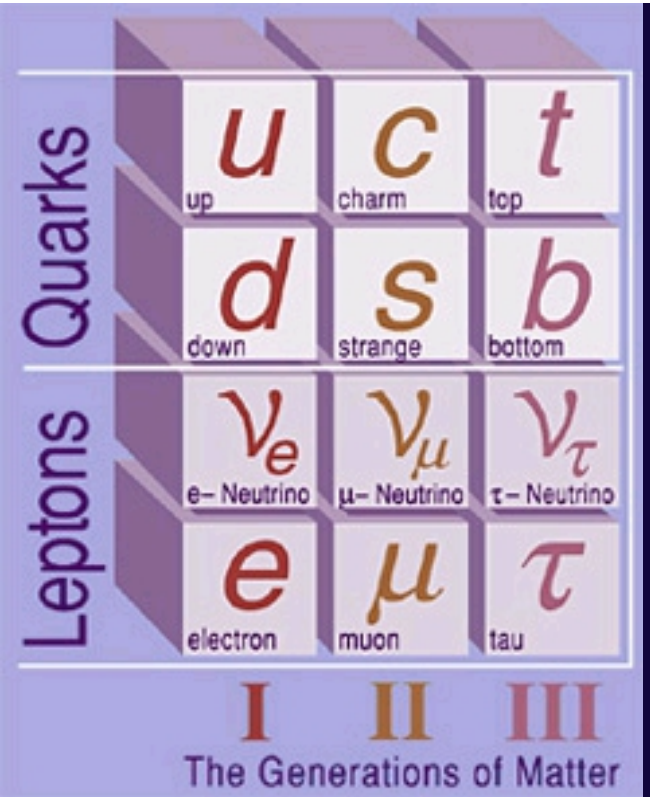
Atua em todas as partícula que possuam carga de cor, ou seja os quarks.

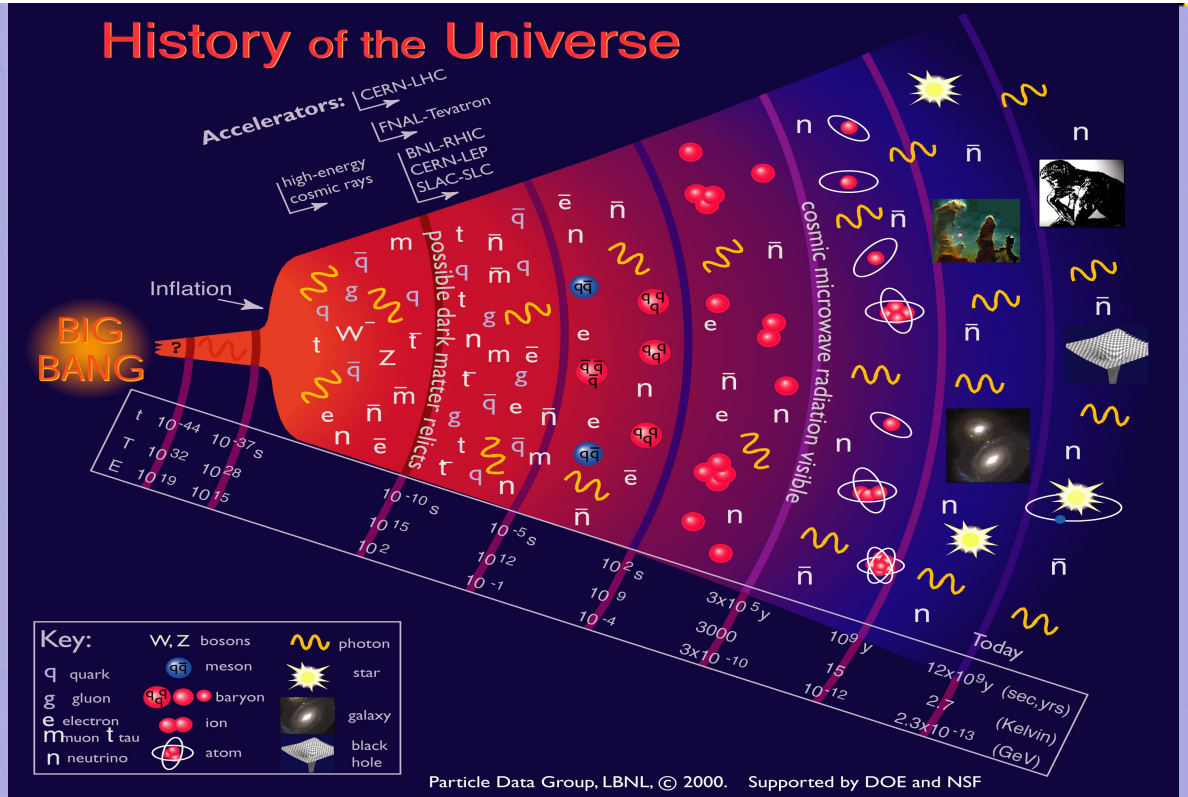
# Como se transmitem as forças?
# Fraca

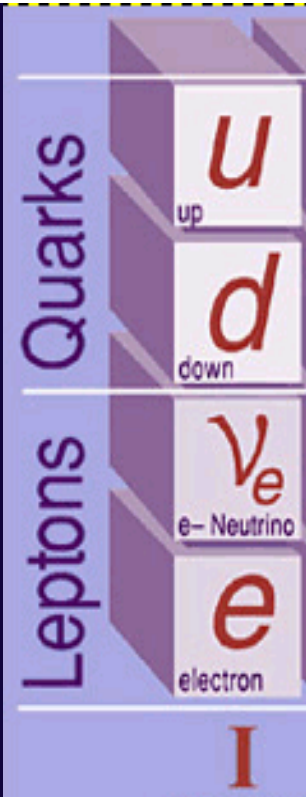
Três famílias de Quarks
e
três famílias de Leptons
no início do universo

Desintegração

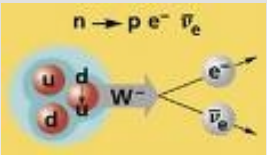
Reduzidos a
uma família
de cada



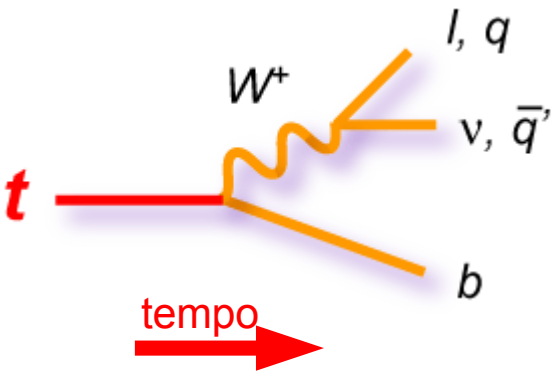
# ***Como se transmitem as forças!!***
# ***Fraca***

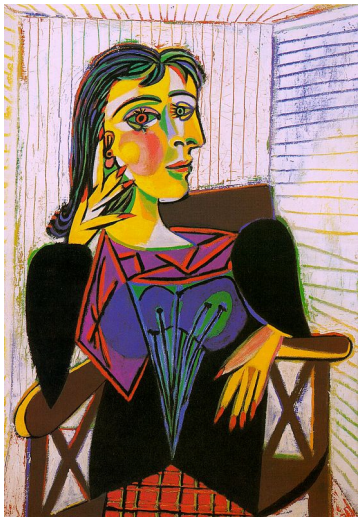



Interage com os quarks e leptons.
Responsável pela desintegração dos quarks e leptons pesados.
Não forma estado ligado.
A mais surpreendente das quatro forças da Natureza.

$W^+$, $W^-$ e $Z^0$

Outra interação básicas da natureza



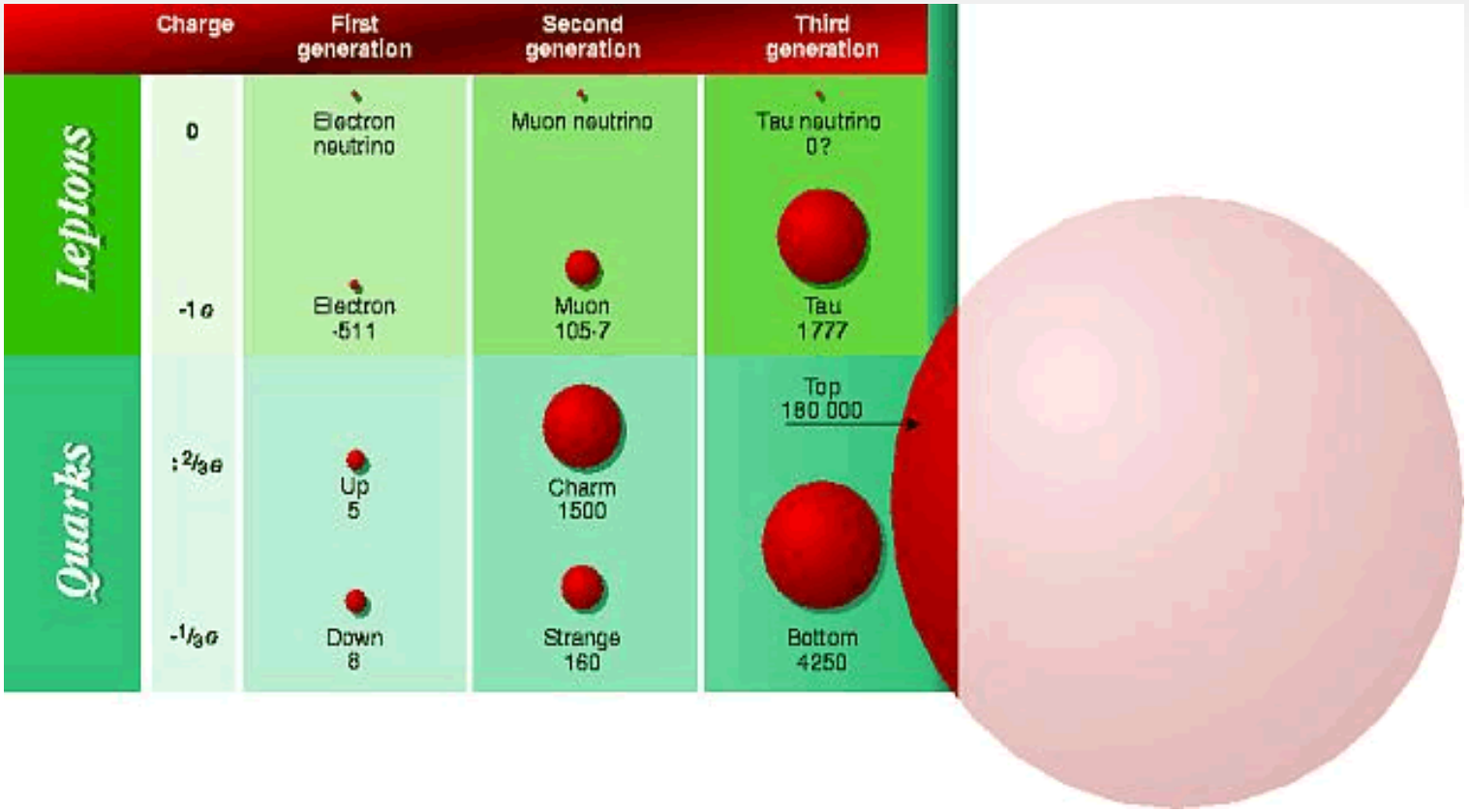



# ***Como se transmitem as forças? Gravitacional***

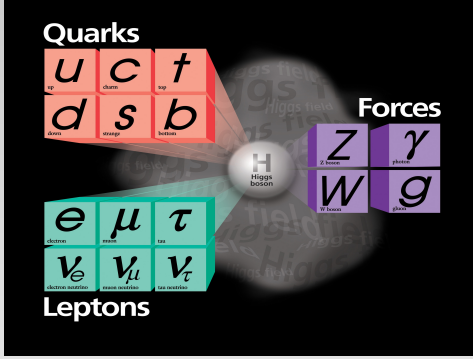
A mais universal, a mais antiga.
Mas é a menos conhecida das quatro forças da Natureza!

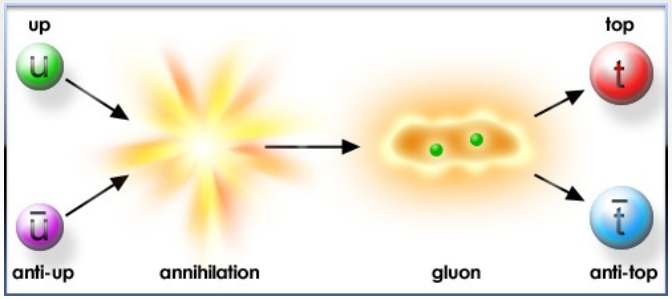
Ondas gravitacionais!

# Massa dos Quarks e Leptons

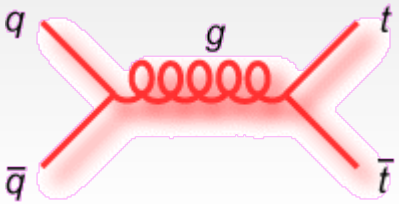


# Partículas e suas Interações fundamentais.

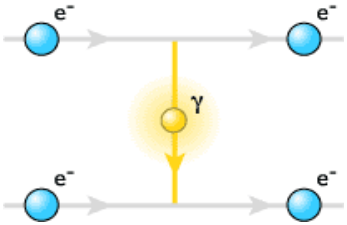


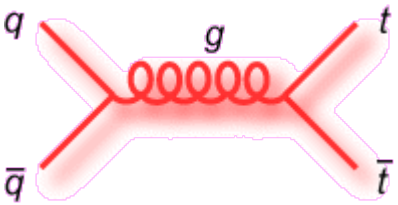




Representação

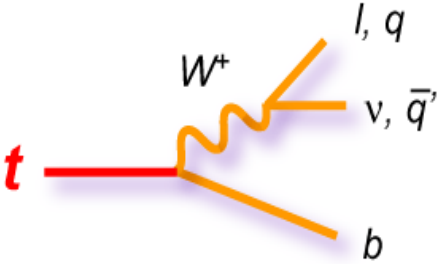


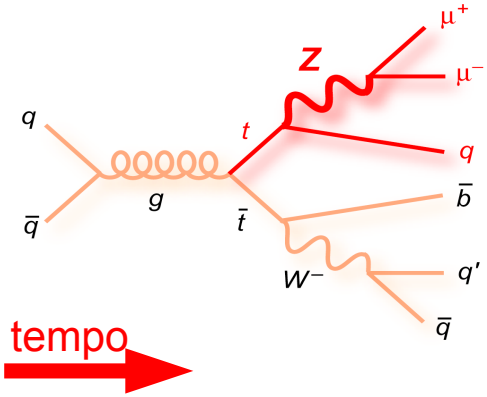

Interações básicas da natureza



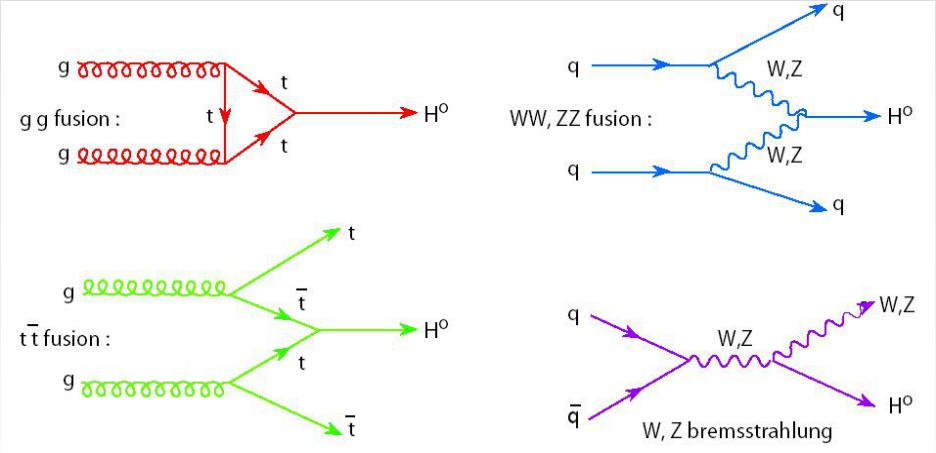



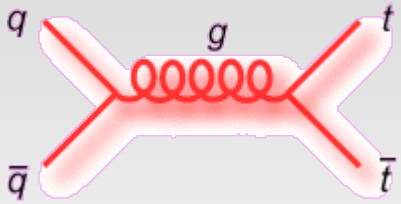

Interações combinadas

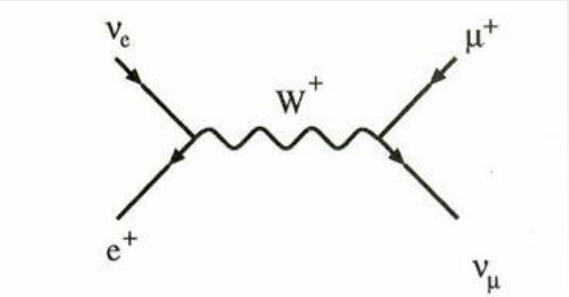


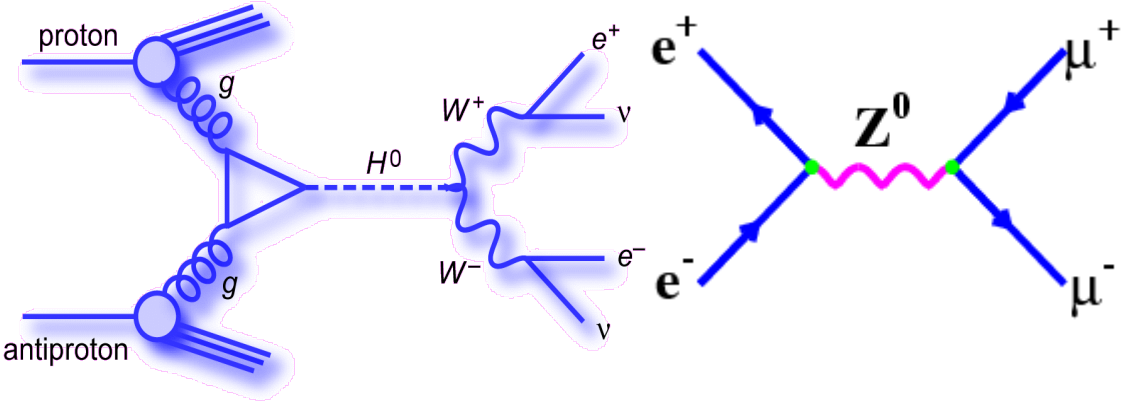



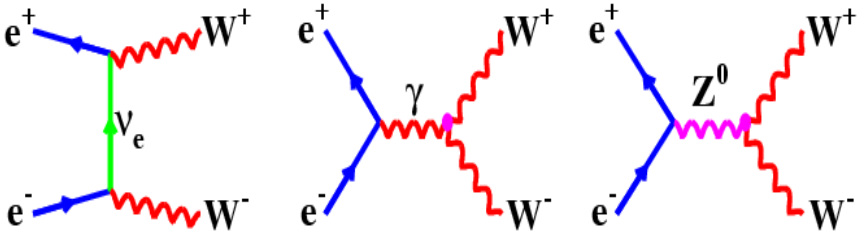
# Dinâmica Matéria Anti-Matéria

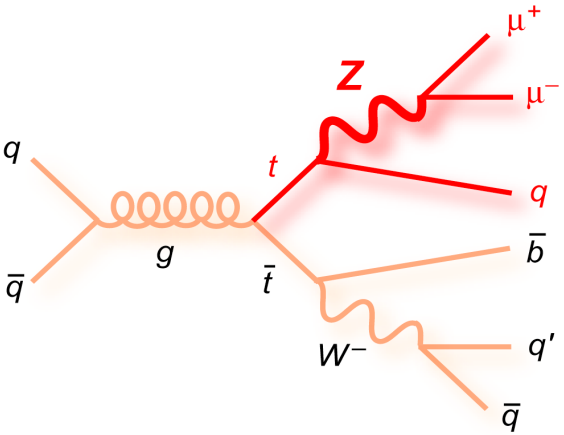


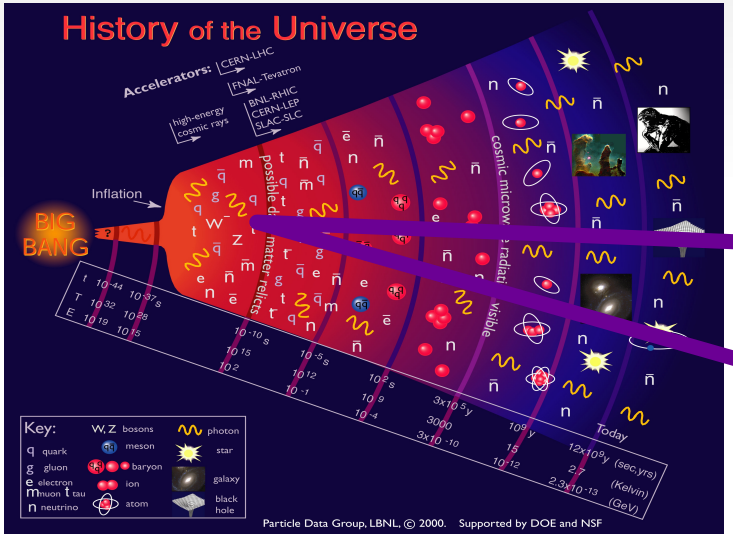



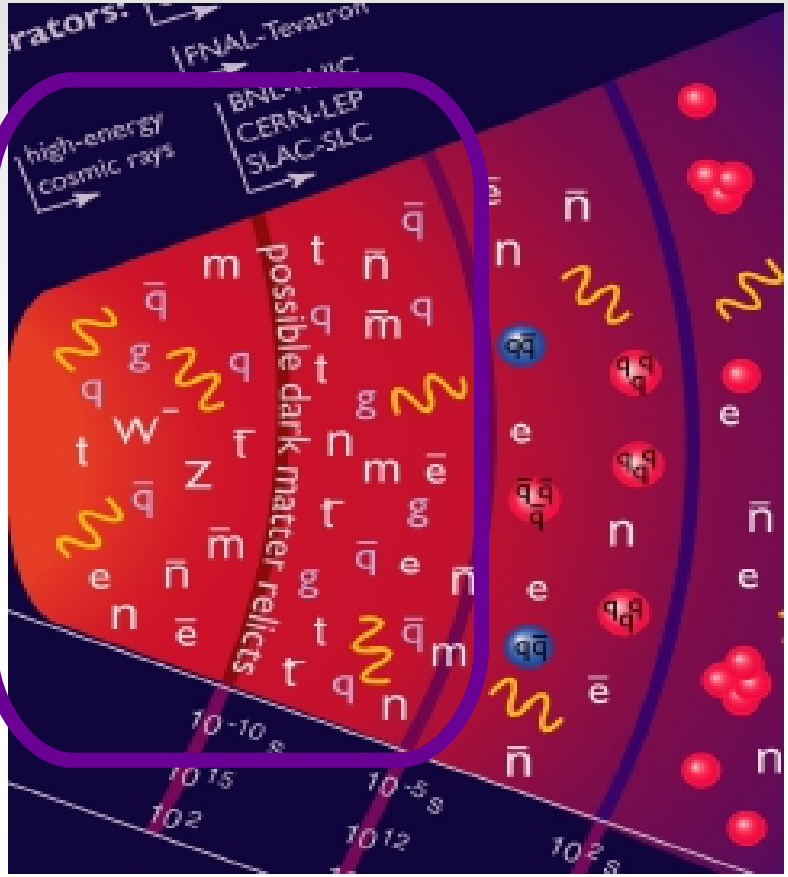



# Início do Universo:
## criação e destruição

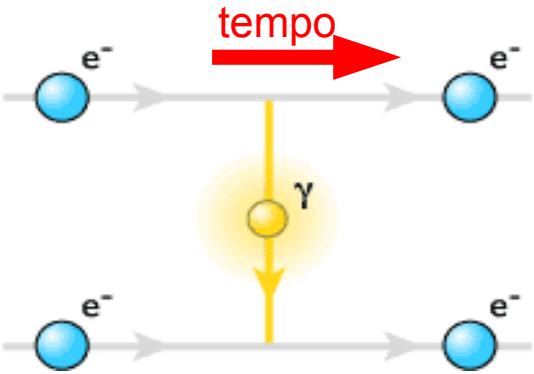


# ***Bósons e Fermions!***

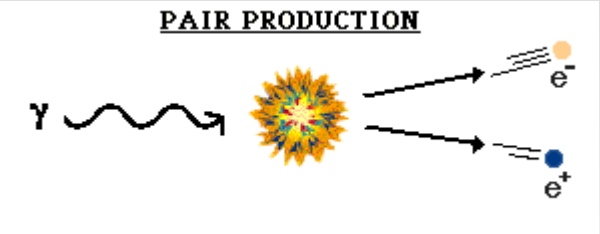
Existem dois tipos de partículas:
as transmissoras de força,
conhecidas como
***bósons***
e as receptoras, conhecidas como ***fermions***
(A família dos elétrons (leptons) e a família dos quarks ).

Primeira das interações
básicas da natureza

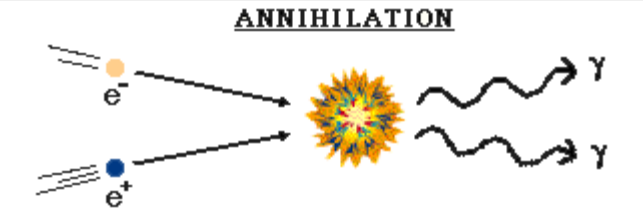


# Dinâmica Matéria Anti-Matéria

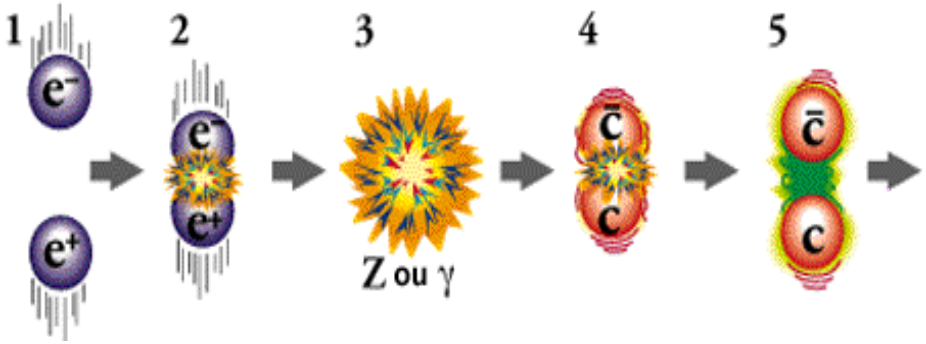
**Criação**
**Partícula Antipartícula**



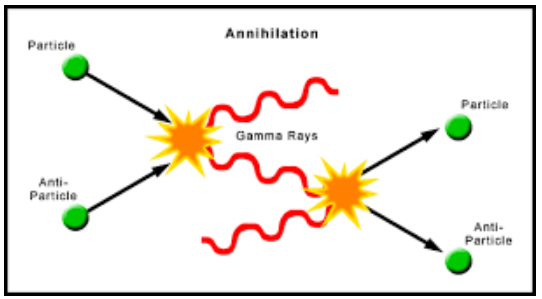

**Aniquilação**
**Partícula Antipartícula**



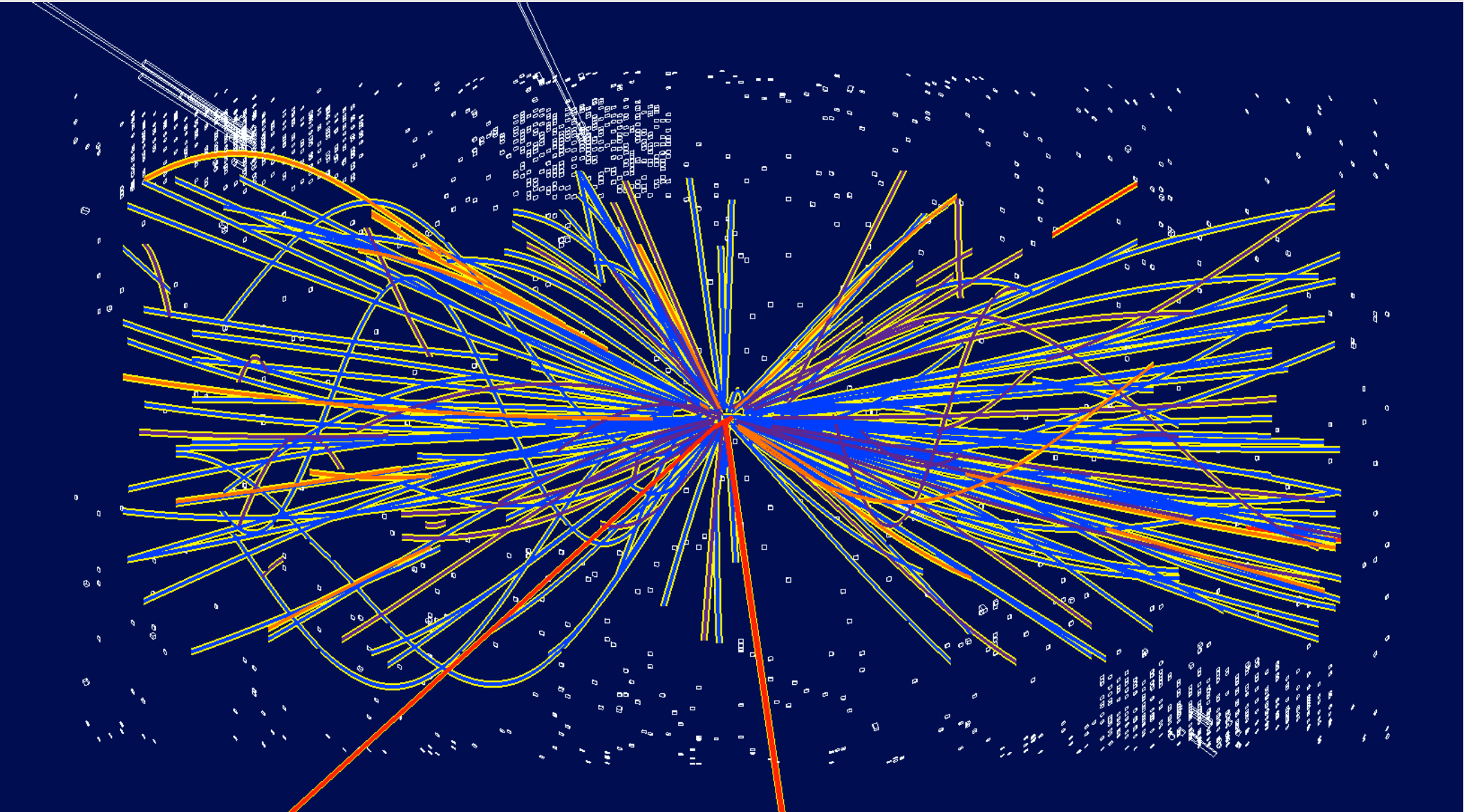

**Aniquilação e Criação**
**Partícula Anti-Partícula.**




**Qualquer processo de produção, por qualquer interação: sempre cria o mesmo número de partículas e antipartículas.**



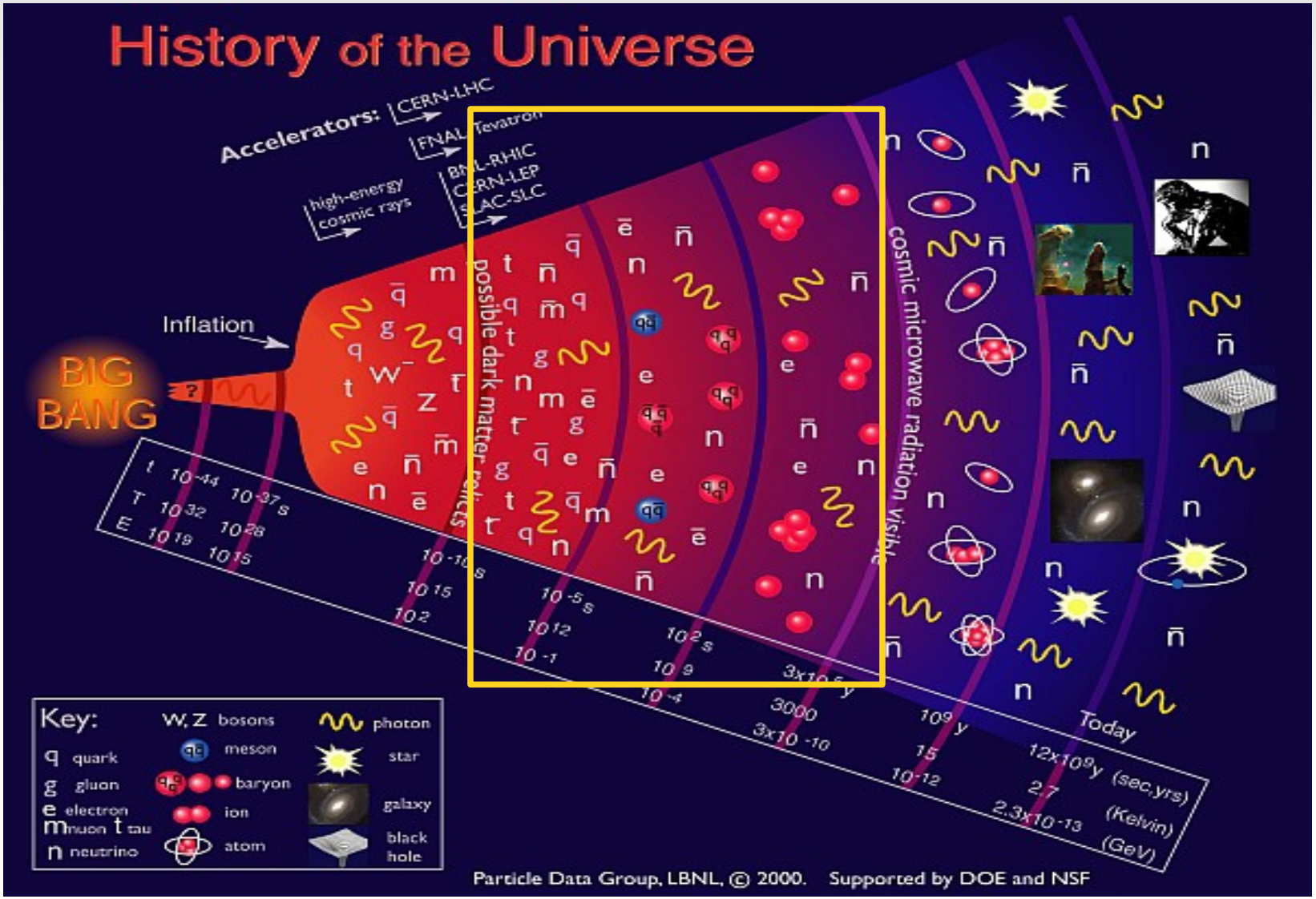
***Em todas as colisões realizadas até hoje, para cada partícula produzida, é produzida uma antipartícula correspondente***



# Bariogénesis

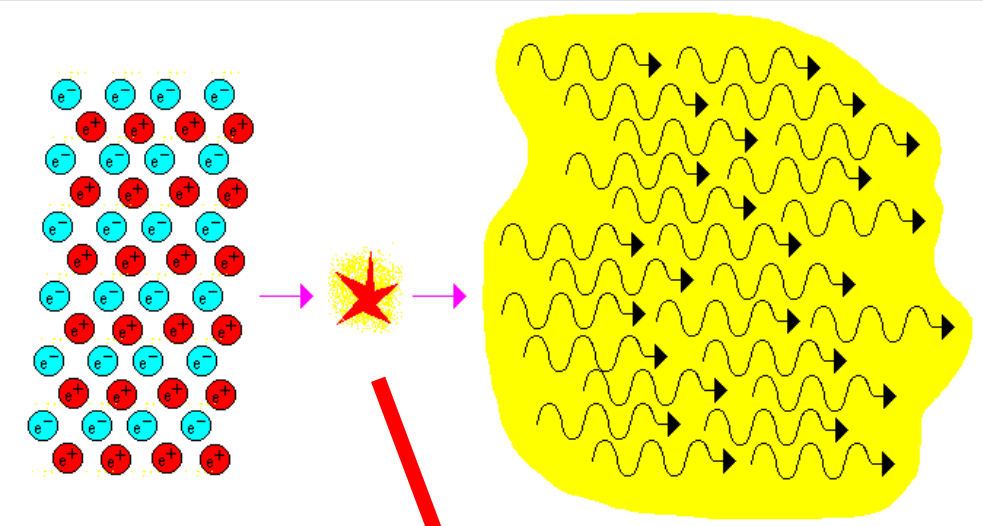
# ***Bariogénesis***

Mesma quantidade de matéria e antimatéria no início do Universo

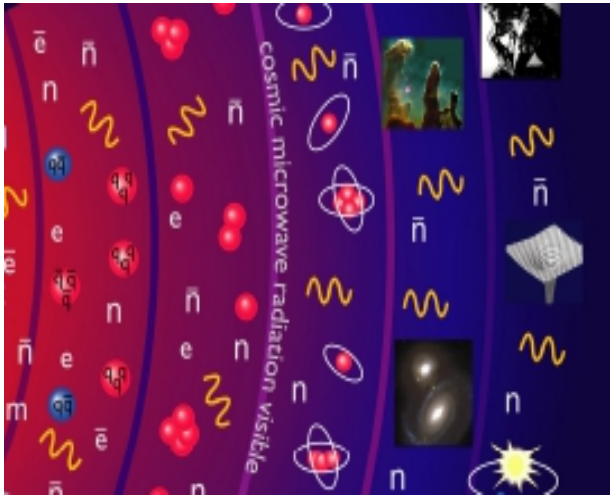


# Expansão e resfriamento

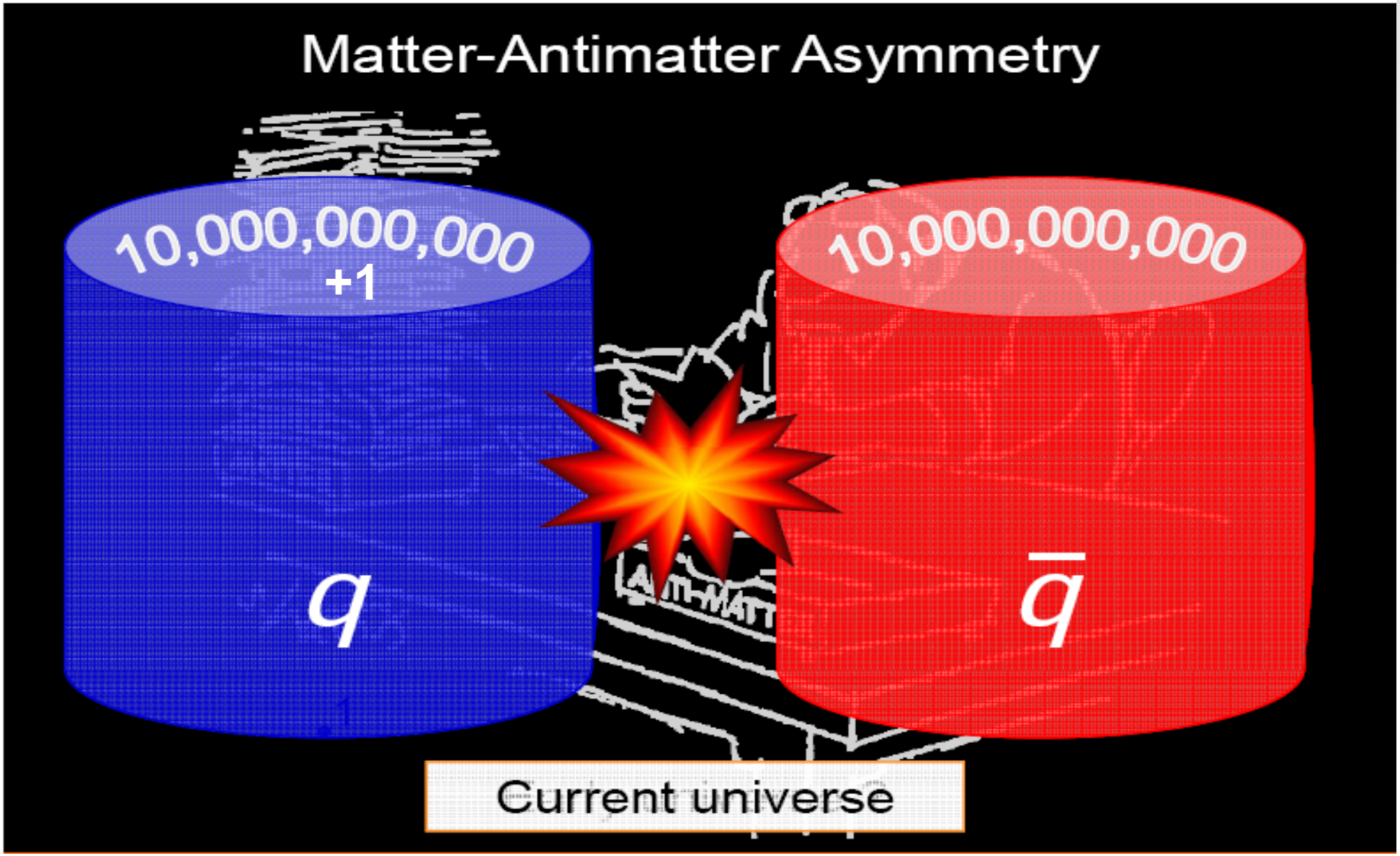
**Uma infinidade de pares partícula anti-partícula**



**Leva a uma infinidade de Fótons com mesma energia pairando pelo Universo**

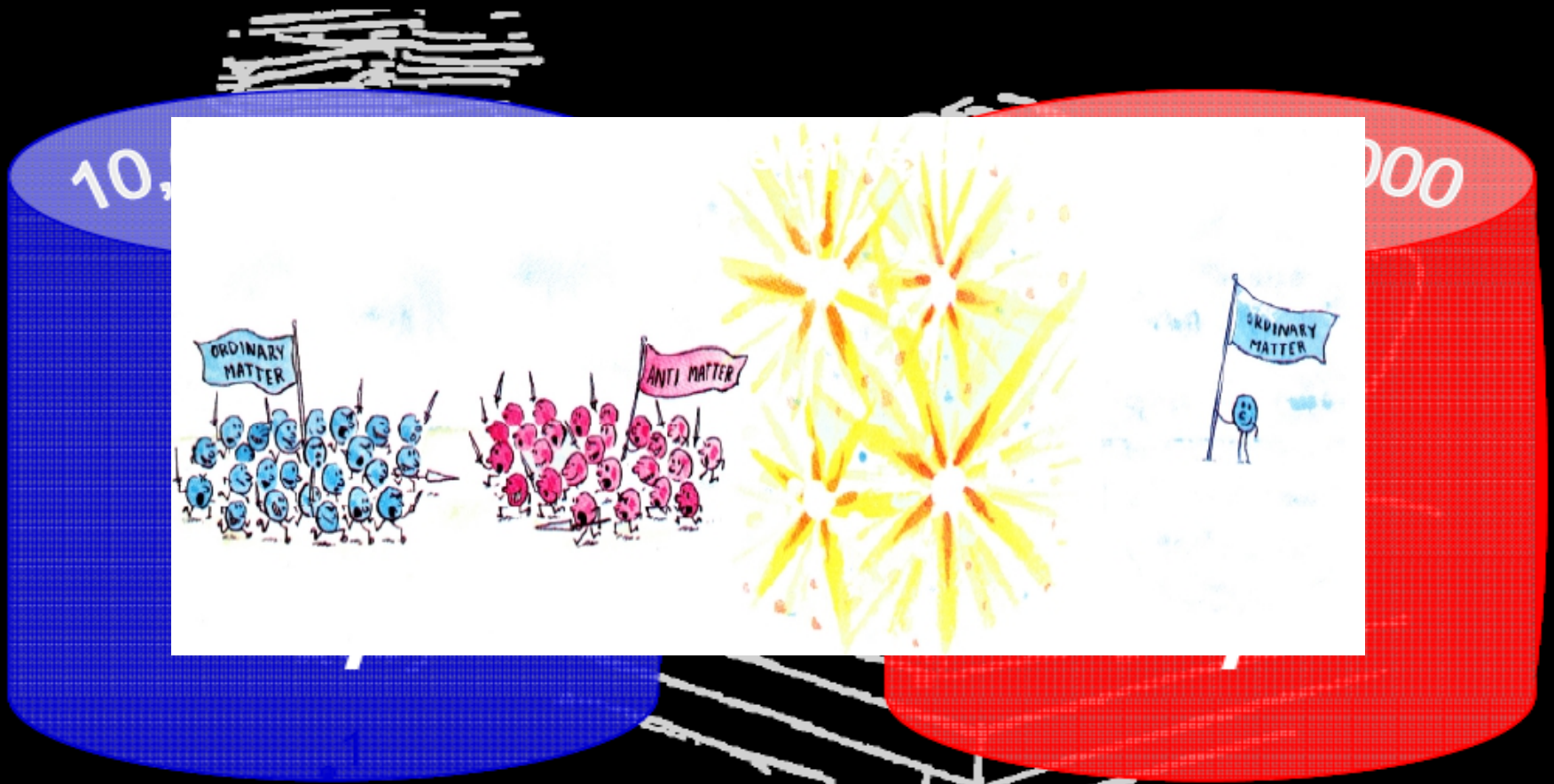


$$\frac{\Delta n_{\text{baryon}}}{n_\gamma} = \frac{n_{\text{baryon}} - n_{\overline{\text{baryon}}}}{n_\gamma} \sim O\left(10^{-10}\right)$$



$$\frac{\Delta n_{\text{baryon}}}{n_\gamma} = \frac{n_{\text{baryon}} - n_{\overline{\text{baryon}}}}{n_\gamma} \sim O\left(10^{-10}\right)$$

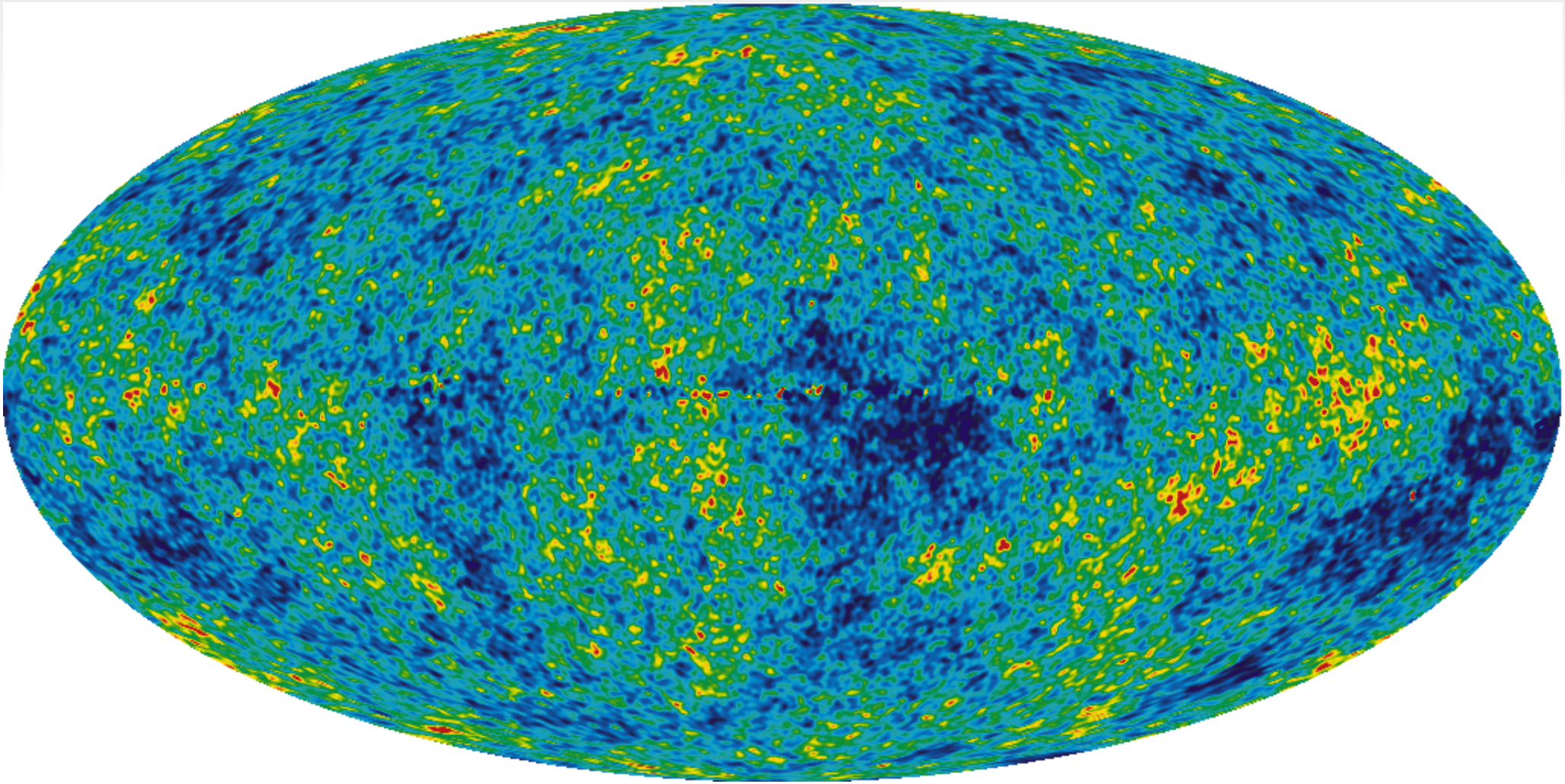
# Matter-Antimatter Asymmetry




Current universe

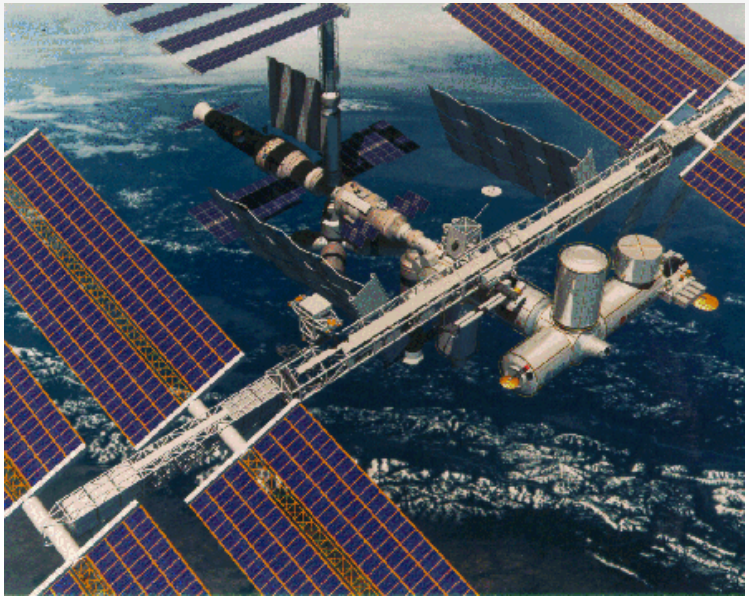
# ***Radiação de fundo***

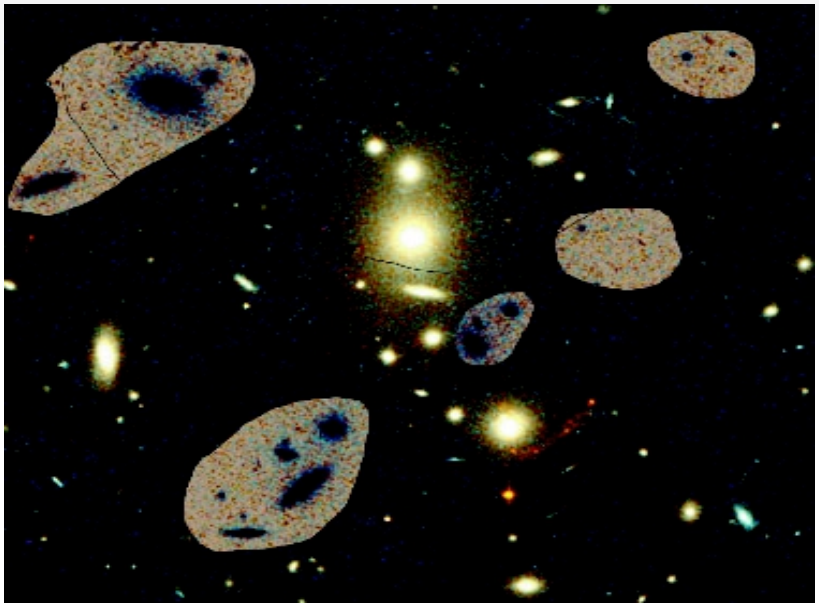
2.7248 a 2.7252 $K^0$ Menos de 0.01% de variação



# Onde esta a Anti-Matéria?

- Balões com detectores de anti-partículas.
- Radio telescópios, satélites com detecção de raios gamma e raios X.



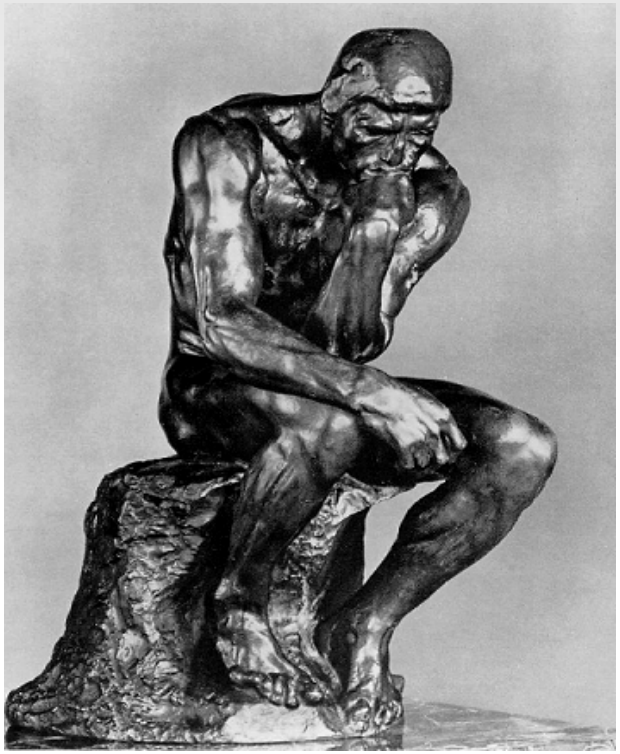


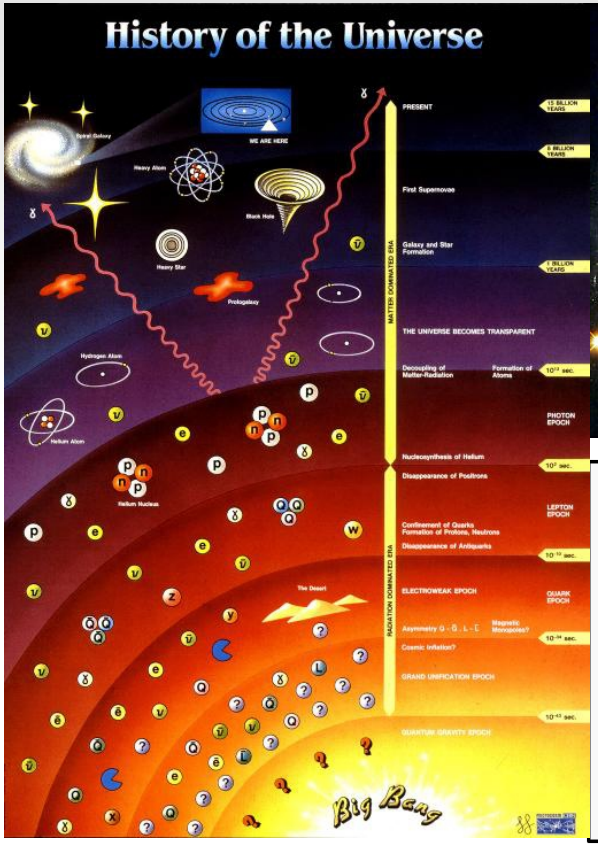
- Nenhuma evidência de anti-matéria em ~ 1 Bilhão de anos luz

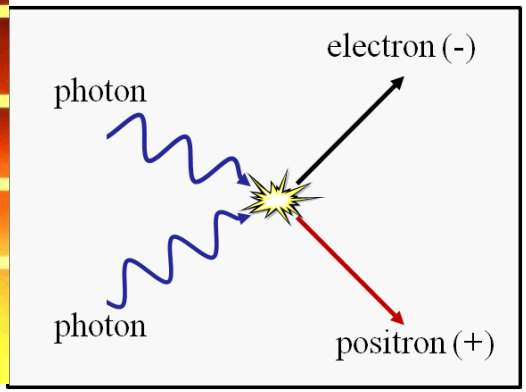
# Colisões entre galáxias

***Não deve existir concentração de antimatéria no Universo***

# Início do Universo???







# Condições de Sakharov

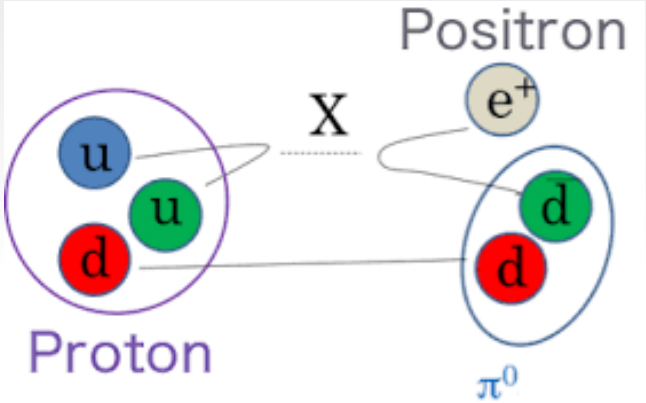
**Para a produção da assimetria entre a matéria e a anti-matéria, observada no universo atual, são necessárias duas condições:**

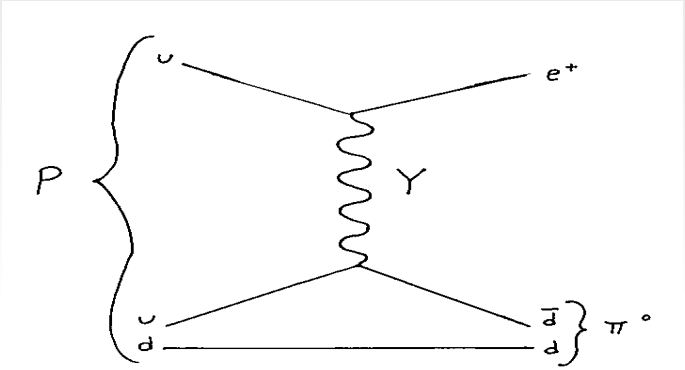
- **O número bariônico ser violado.**
- **Violação de C e de CP**

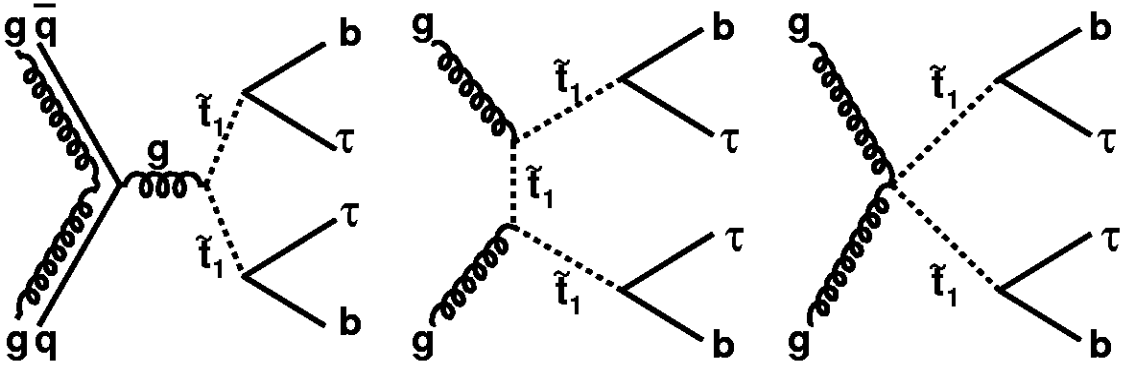
**Estas duas condições seriam possíveis, segundo Sakharov, somente em um sistema fora do equilíbrio termodinâmico, ou seja no Universo em forte expansão.**

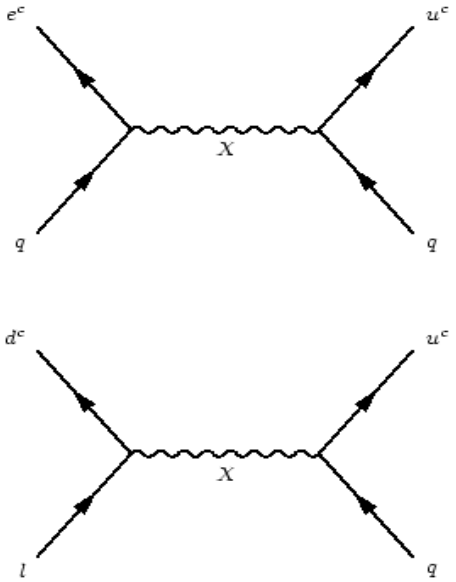
# Violação do número Bariônico

**Processos onde: o número de quarks, menos o número de anti-quarks, é diferente entre o estado inicial e final.**



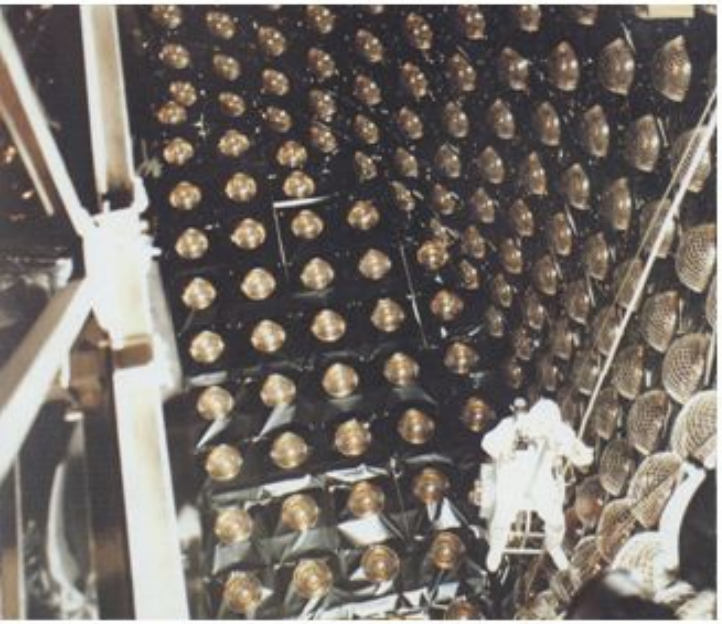



# Proton decay experiments

Grand Unified Theories (in the late 1970's) ➔ $\tau_p = 10^{30\pm2}$ years

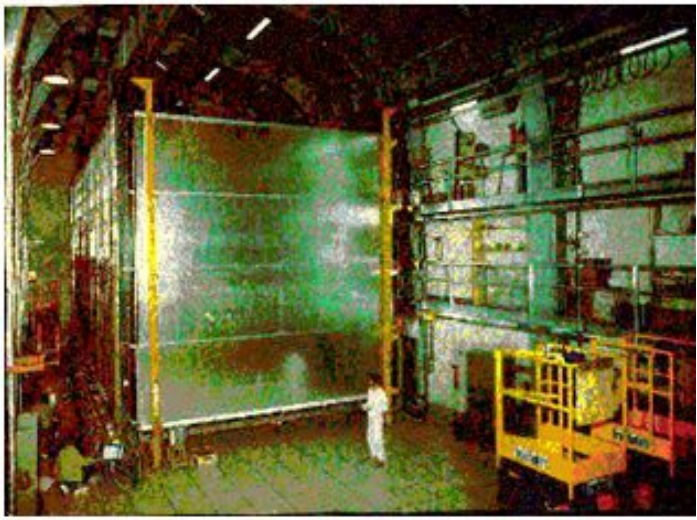


Kamiokande
(1000ton)

IMB
(3300ton)

NUSEX
(130ton)

Frejus
(700ton)



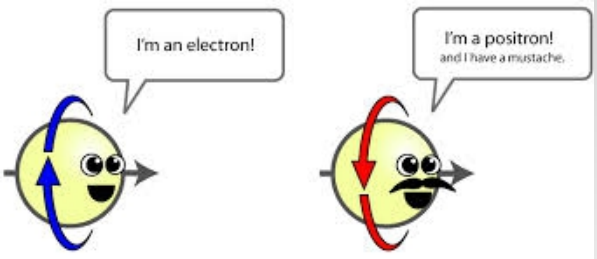
These experiments observed many contained atmospheric neutrino events (background for proton decay).

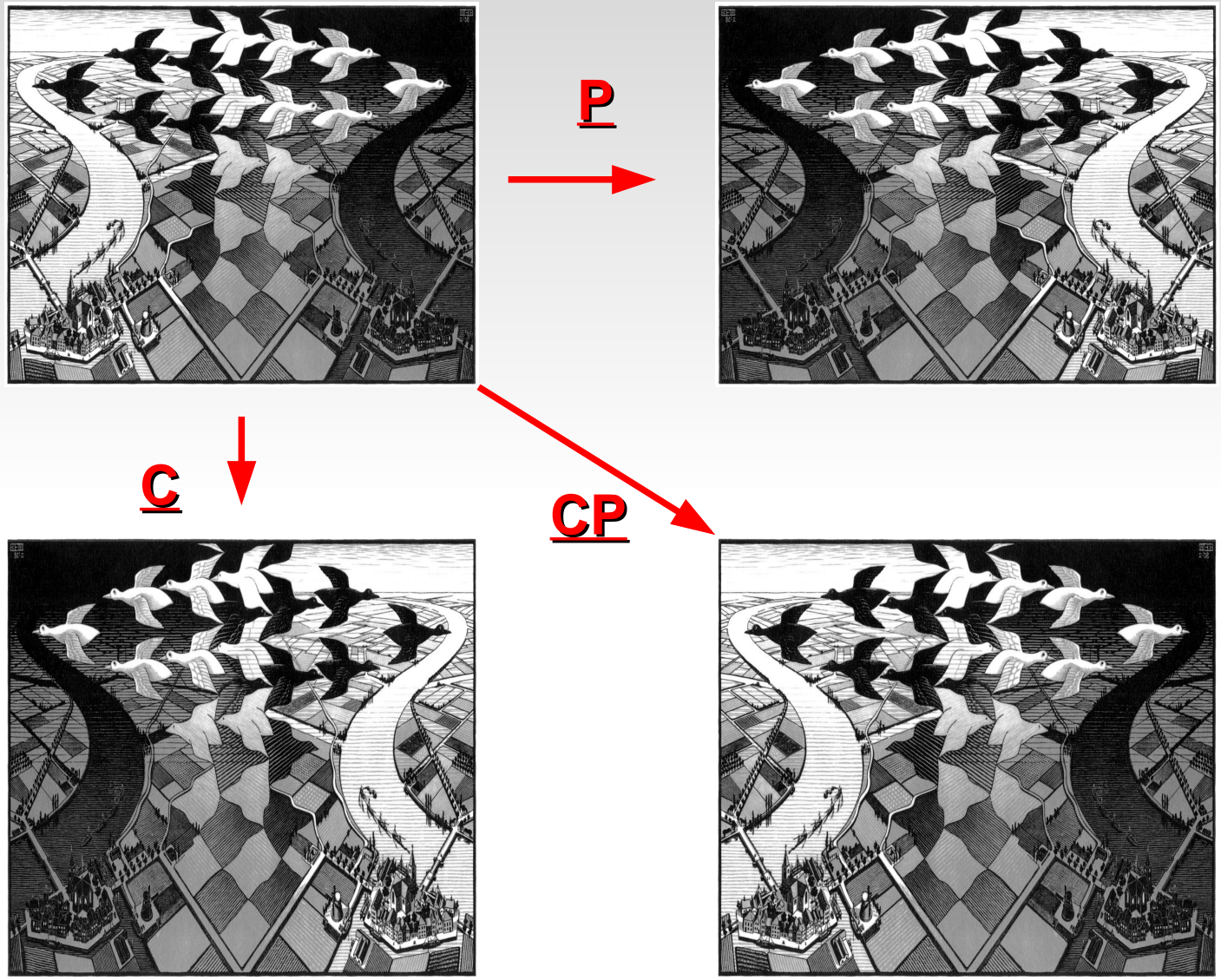
# Resultados experimentais negativos: Particle Data Group

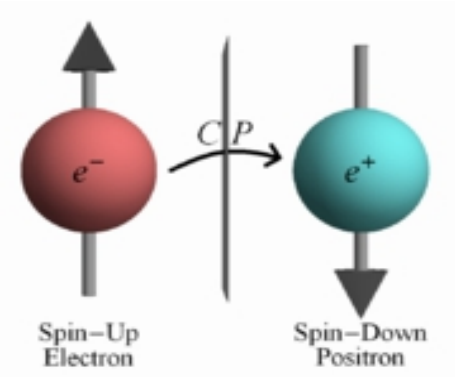
| $p$ DECAY MODES | Partial mean life ($10^{30}$ years) |
|---|---|
| **Antilepton + meson** | |
| $N \to e^+ \pi$ | $> 158$ ($n$), $> 1600$ ($p$) |
| $N \to \mu^+ \pi$ | $> 100$ ($n$), $> 473$ ($p$) |
| $N \to \nu \pi$ | $> 112$ ($n$), $> 25$ ($p$) |
| $p \to e^+ \eta$ | $> 313$ |
| $p \to \mu^+ \eta$ | $> 126$ |
| $n \to \nu \eta$ | $> 158$ |
| $N \to e^+ \rho$ | $> 217$ ($n$), $> 75$ ($p$) |
| $N \to \mu^+ \rho$ | $> 228$ ($n$), $> 110$ ($p$) |
| $N \to \nu \rho$ | $> 19$ ($n$), $> 162$ ($p$) |
| $p \to e^+ \omega$ | $> 107$ |
| $p \to \mu^+ \omega$ | $> 117$ |
| $n \to \nu \omega$ | $> 108$ |
| $N \to e^+ K$ | $> 17$ ($n$) |
| $p \to e^+ K^0_S$ | $> 120$ |
| $p \to e^+ K^0_L$ | $> 51$ |
| $N \to \mu^+ K$ | $> 26$ ($n$) |
| $p \to \mu^+ K^0_S$ | $> 150$ |
| $p \to \mu^+ K^0_L$ | $> 83$ |
| $N \to \nu K$ | $> 86$ ($n$) |
| $n \to \nu K^0_S$ | $> 51$ |
| $p \to e^+ K^*(892)^0$ | $> 84$ |
| $N \to \nu K^*(892)$ | $> 78$ ($n$) |
| **Antilepton + mesons** | |
| $p \to e^+ \pi^+ \pi^-$ | $> 82$ |
| $p \to e^+ \pi^0 \pi^0$ | $> 147$ |
| $n \to e^+ \pi^- \pi^0$ | $> 52$ |
| $p \to \mu^+ \pi^+ \pi^-$ | $> 133$ |
| $p \to \mu^+ \pi^0 \pi^0$ | $> 101$ |
| $n \to \mu^+ \pi^- \pi^0$ | $> 74$ |
| $n \to e^+ K^0 \pi^-$ | $> 18$ |
| **Lepton + meson** | |
| $n \to e^- \pi^+$ | $> 65$ |
| $n \to \mu^- \pi^+$ | $> 49$ |
| $n \to e^- \rho^+$ | $> 62$ |
| $n \to \mu^- \rho^+$ | $> 7$ |
| $n \to e^- K^+$ | $> 32$ |
| $n \to \mu^- K^+$ | $> 57$ |
| **Lepton + mesons** | |
| $p \to e^- \pi^+ \pi^+$ | $> 30$ |
| $n \to e^- \pi^+ \pi^0$ | $> 29$ |
| $p \to \mu^- \pi^+ \pi^+$ | $> 17$ |
| $n \to \mu^- \pi^+ \pi^0$ | $> 34$ |
| $p \to e^- \pi^+ K^+$ | $> 75$ |
| $p \to \mu^- \pi^+ K^+$ | $> 245$ |
| **Antilepton + photon(s)** | |
| $p \to e^+ \gamma$ | $> 670$ |
| $p \to \mu^+ \gamma$ | $> 478$ |
| $n \to \nu \gamma$ | $> 28$ |
| $p \to e^+ \gamma \gamma$ | $> 100$ |
| $n \to \nu \gamma \gamma$ | $> 219$ |

**Não há nenhuma indicação de violação do número barionico a baixas temperaturas.**

# CP Symmetry



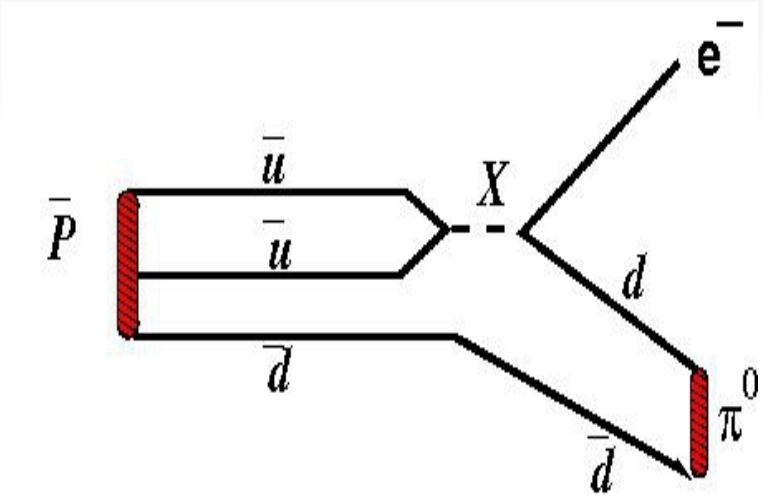



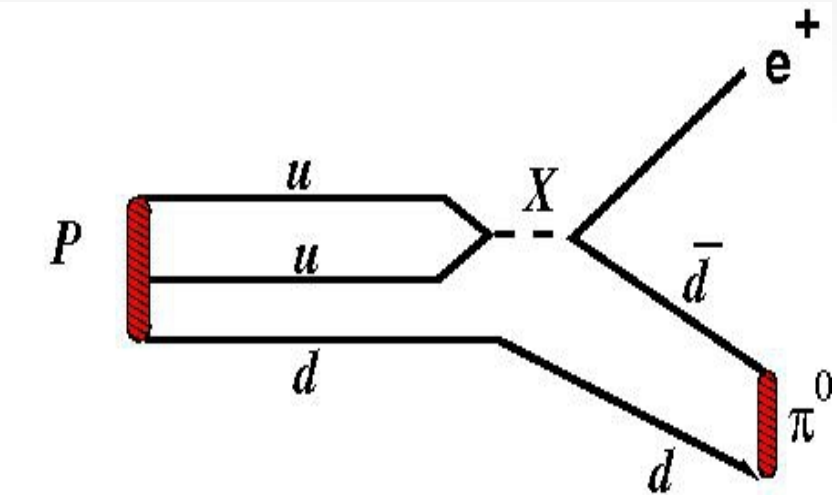

Landau: Essa transformação, segundo Landau, era a responsavel por transformar matéria em antimatéria.

# Violação de CP

**Desintegração do próton seria menor que a do antipróton**

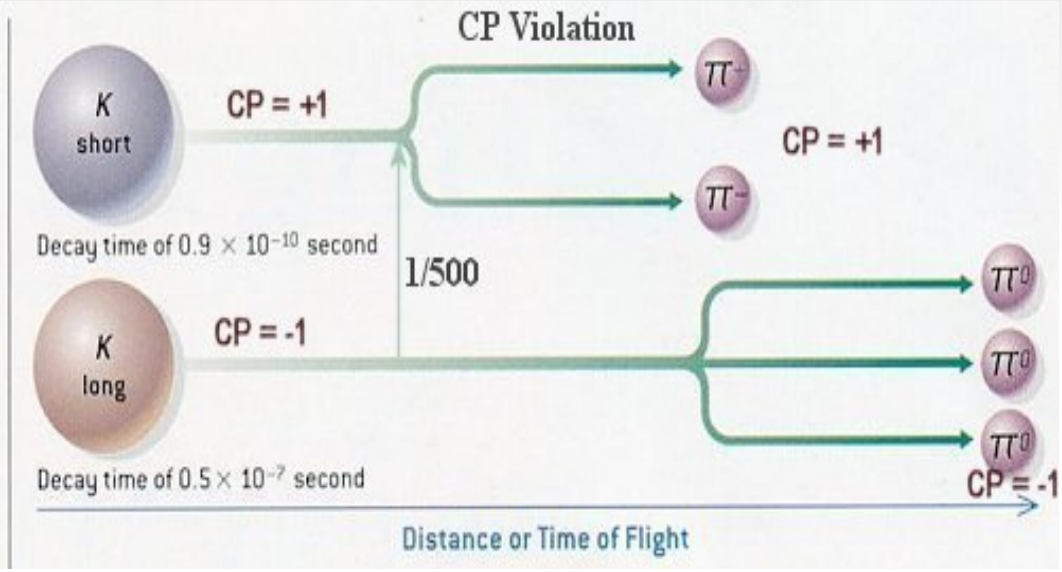


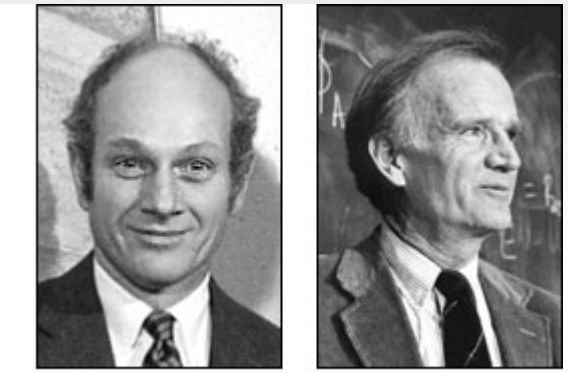

>




**Isto daria conta do fato de que a soma das cargas elétrica do Universo é zero**

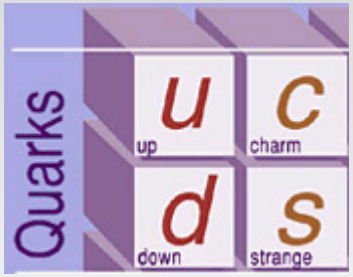
# ~~CP~~ observação da violação de CP: 54 years!





James Cronin
Val Fitch

1/500 dos $K_{long}$ foram para dois pions em vez de dois

# Kobayashi-Maskawa Nobel de 2008




Matriz de Cabibbo de mistura 2X2

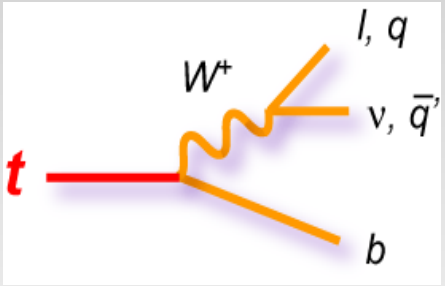
$$\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} d & s & b \end{array} \\ \begin{array}{c} \left|\begin{array}{ccc} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{array}\right| \end{array} \begin{array}{c} u \\ c \\ t \end{array} \end{array}$$

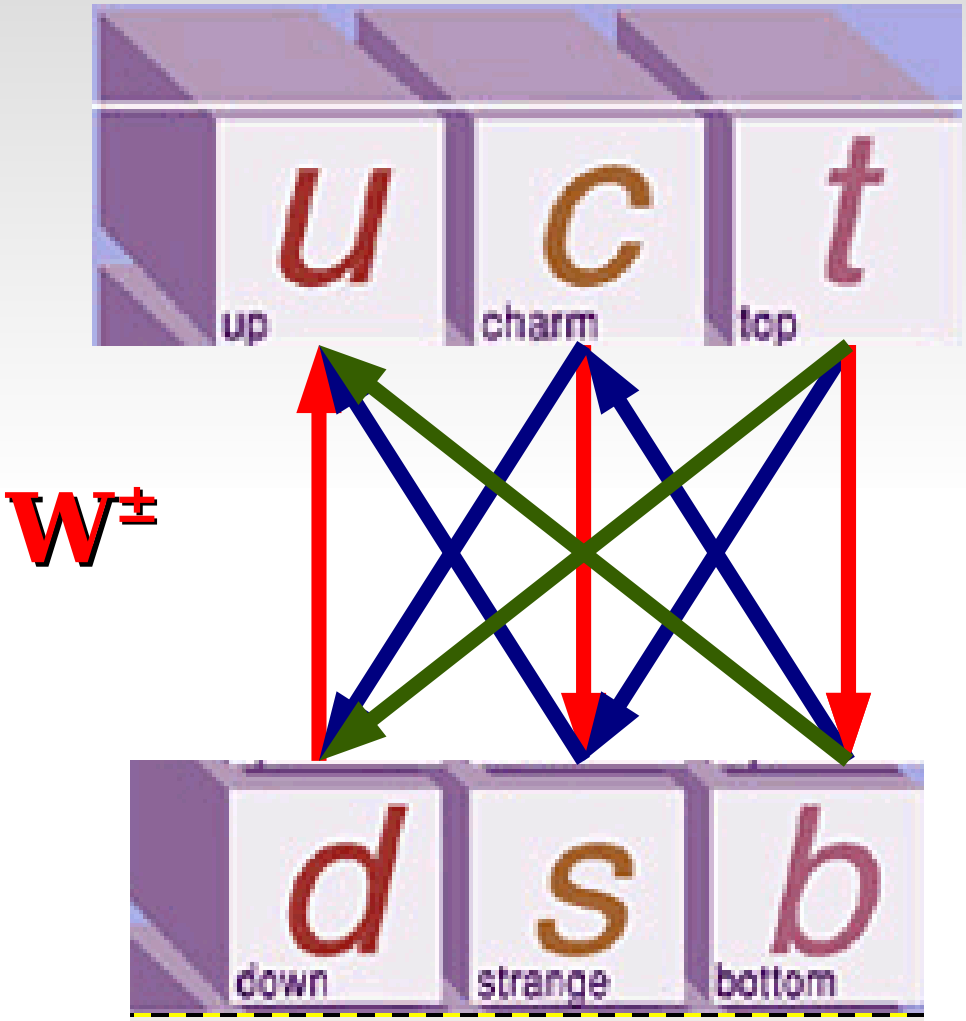
2 ^  3 famílias de quarks
Matriz de mistura 2X2 > 3X3,
permite um termo complexo que poderia explicar a irreversibilidade temporal

Kobayashi e Maskawa propuseram dois novos quarks o ***b*** e ***t***

Partículas envolvendo o quark b, maior quantidade de irreversibilidade

# Cabbibo Kobayashi Maskawa Matrix




**High probability**

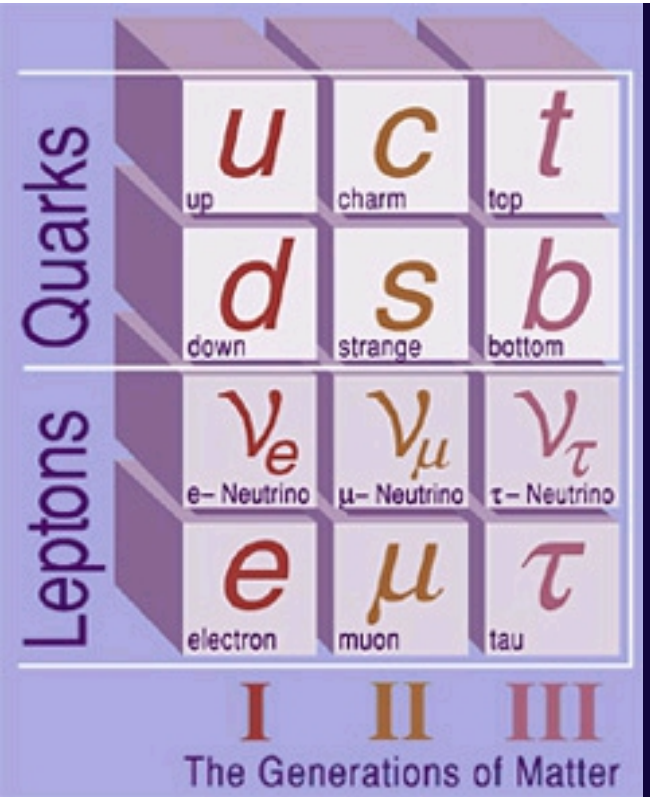
**Middle probability**

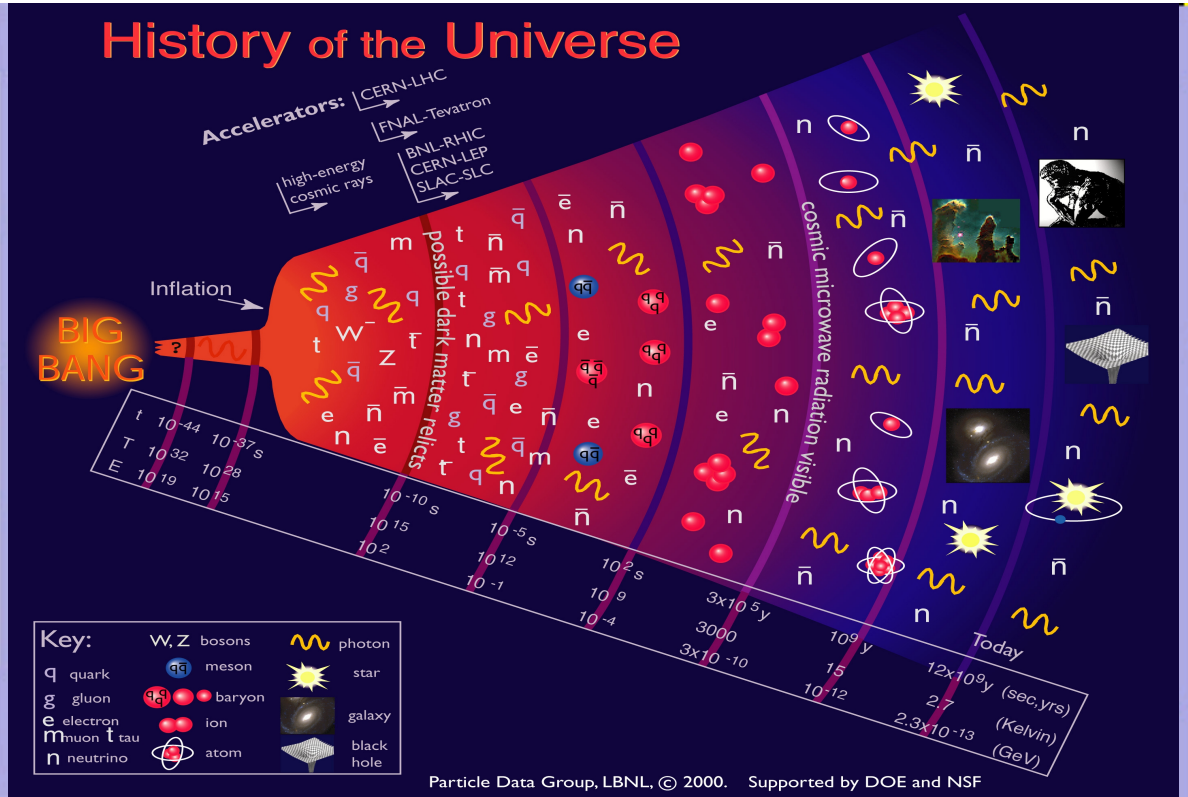
**Low probability**

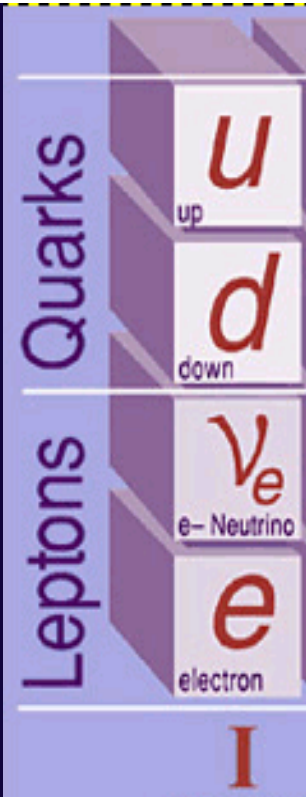
***Cabibbo Kobayashi-Maskawa:***
***4 parameters, 3 angles and one phase.***

# Quarks e Leptons

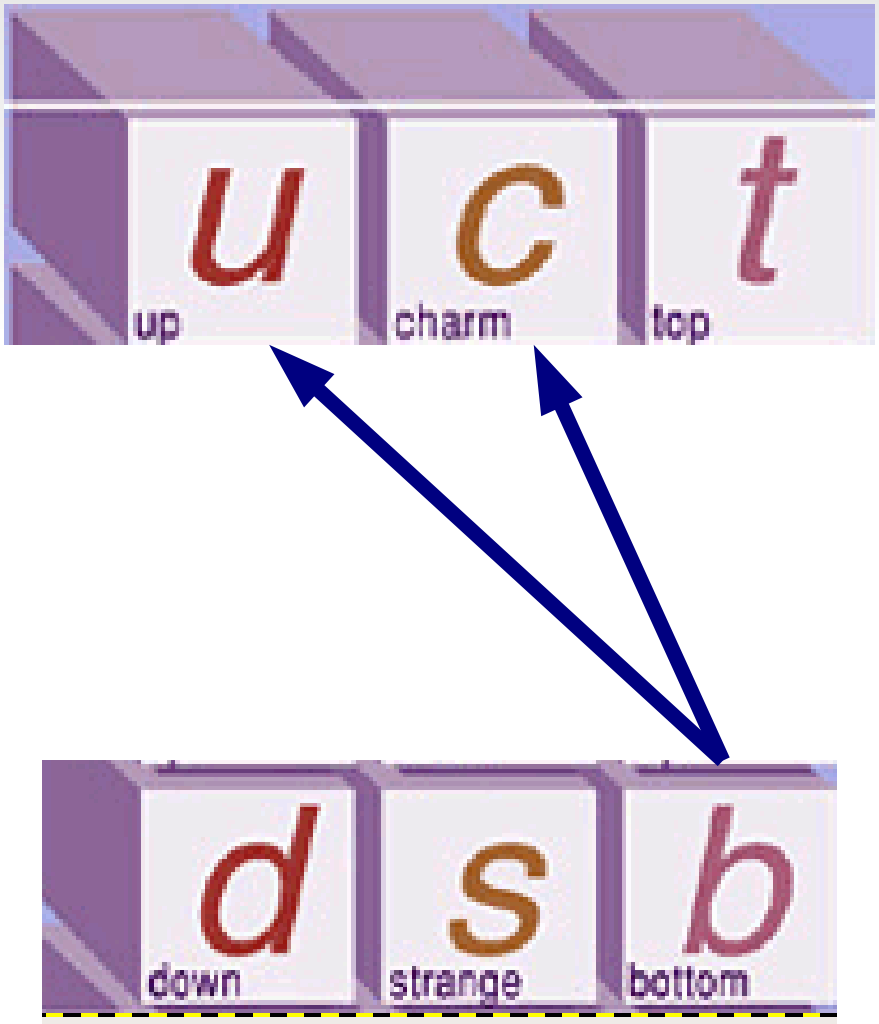
**Três famílias de Quarks e**
**três famílias de Leptons.**
**Todas já produzidas e observadas em aceleradores.**



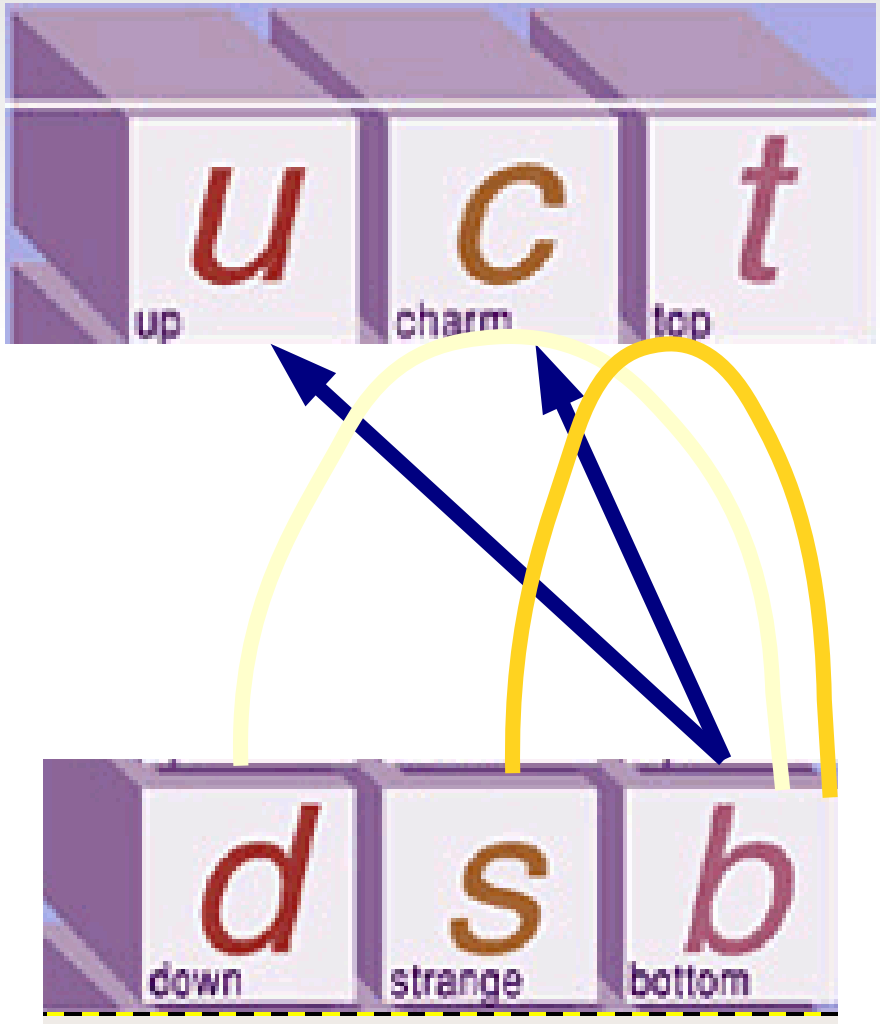
# Quark b: maior fonte de violacão de CP




Decaimentos de partículas envolvendo o quark b, apresentam forte componente de violação de CP

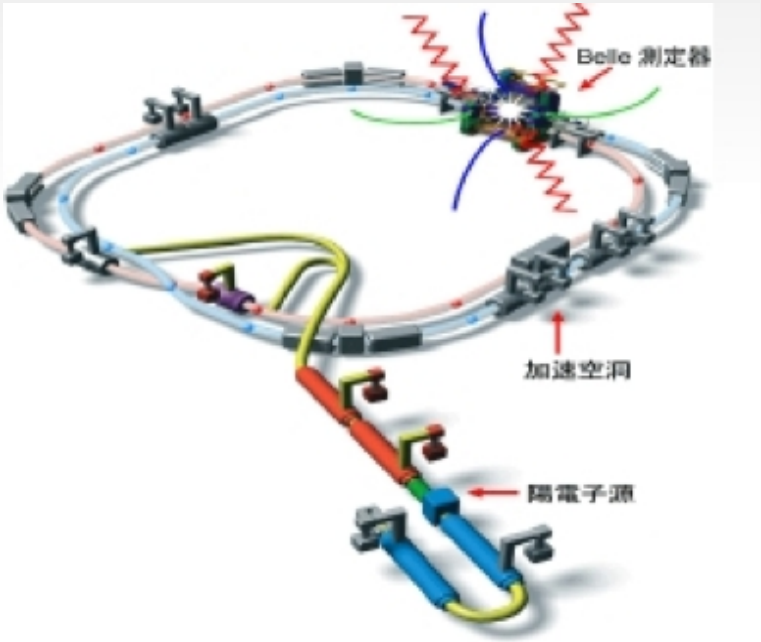
# ***b quark is the biggest source of CP violation in the CKM matrix.***

**I. Bigi e A. Sanda**



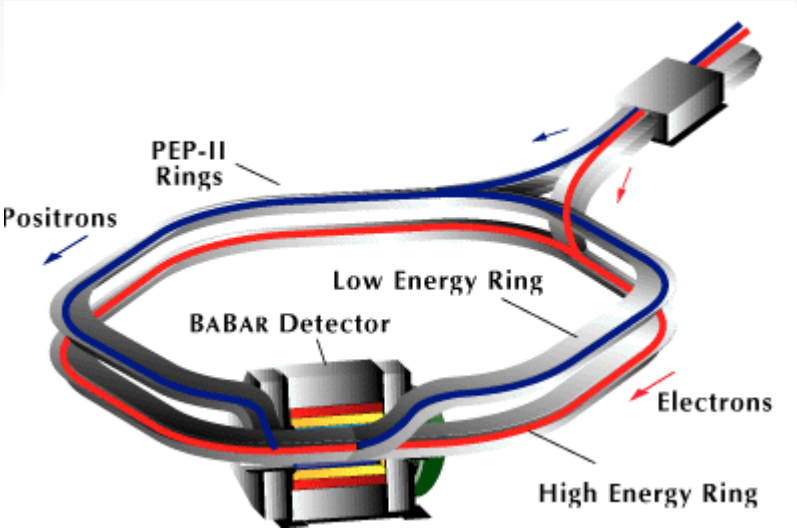
# Belle and BaBar Collaborations

## KEK Japão



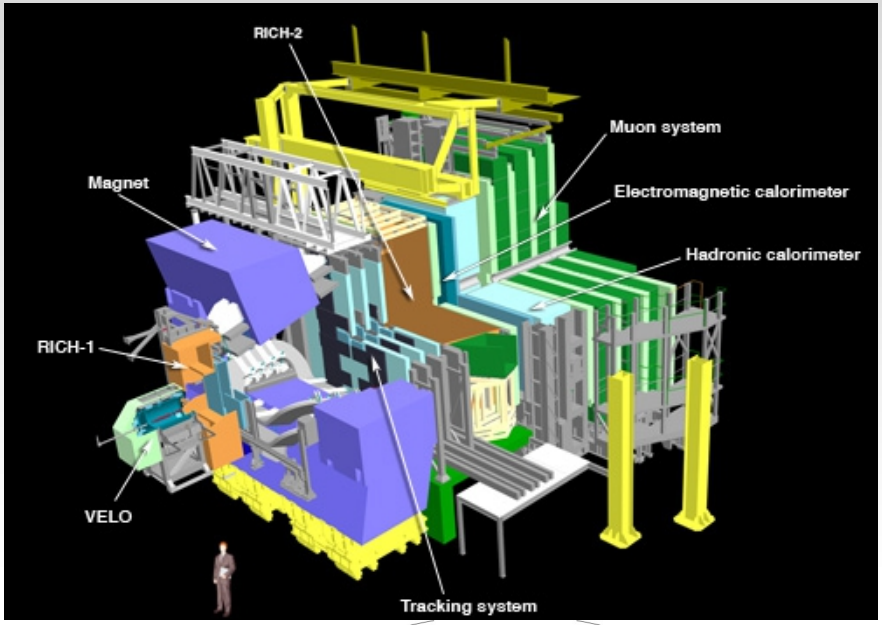

**657 millions of B's mesons**

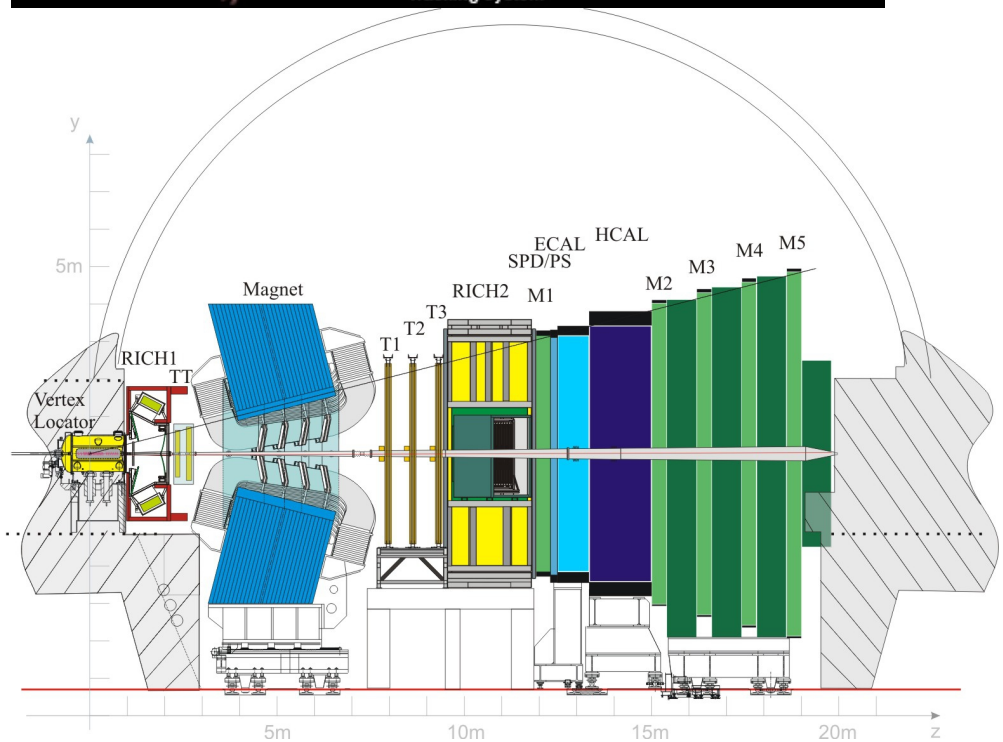
## PEP II- Stanford-EUA




**383 millions of B's mesons**

# Detector LHCb



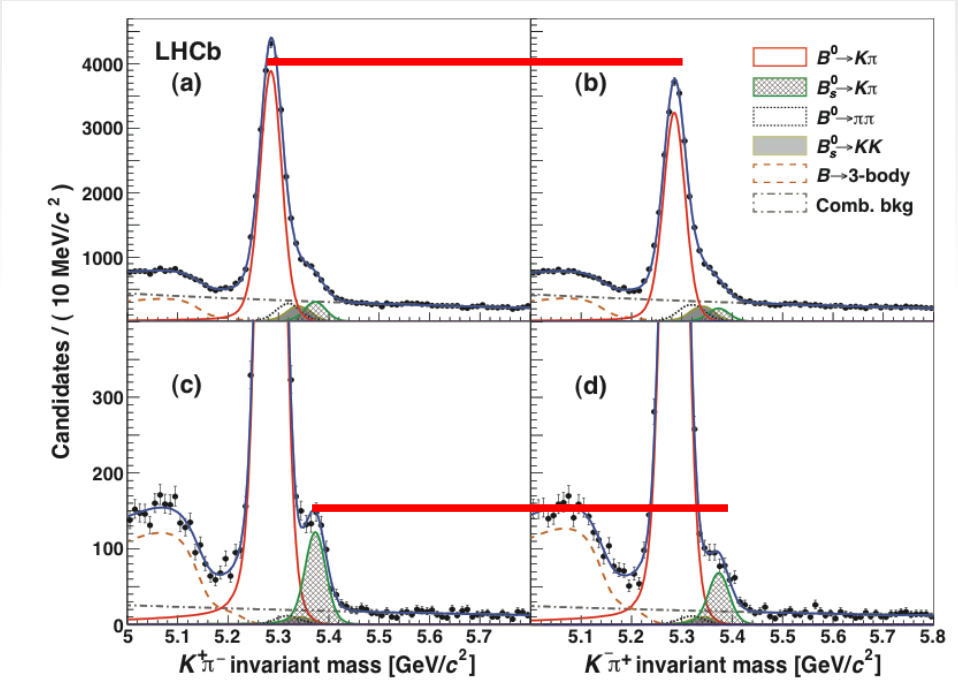
# Directly CP violation for :

# $B^0 \to K^+\pi^-$ e $B^0_s \to K^+\pi^-$

LHCb: *Phys. Rev. Lett. 110, 221601 (2013)*

Directly CP violation:

simple counting of events between charge conjugates final states.




$$A_{cp}(B^0 \to K^+\pi^-) = \frac{|\langle K^+\pi^- | T | B^0\rangle|^2 - |\langle K^-\pi^+ | T | \overline{B}^0\rangle|^2}{|\langle K^+\pi^- | T | B^0\rangle|^2 + |\langle K^-\pi^+ | T | \overline{B}^0\rangle|^2}$$

$$A_{CP}(B^0 \to K^+\pi^-) = -0.080 \pm 0.007\,(\text{stat}) \pm 0.003\,(\text{syst}),$$

$$A_{CP}(B^0_s \to K^-\pi^+) = 0.27 \pm 0.04\,(\text{stat}) \pm 0.01\,(\text{syst}).$$

# Observação de Violação da Simetria de CP

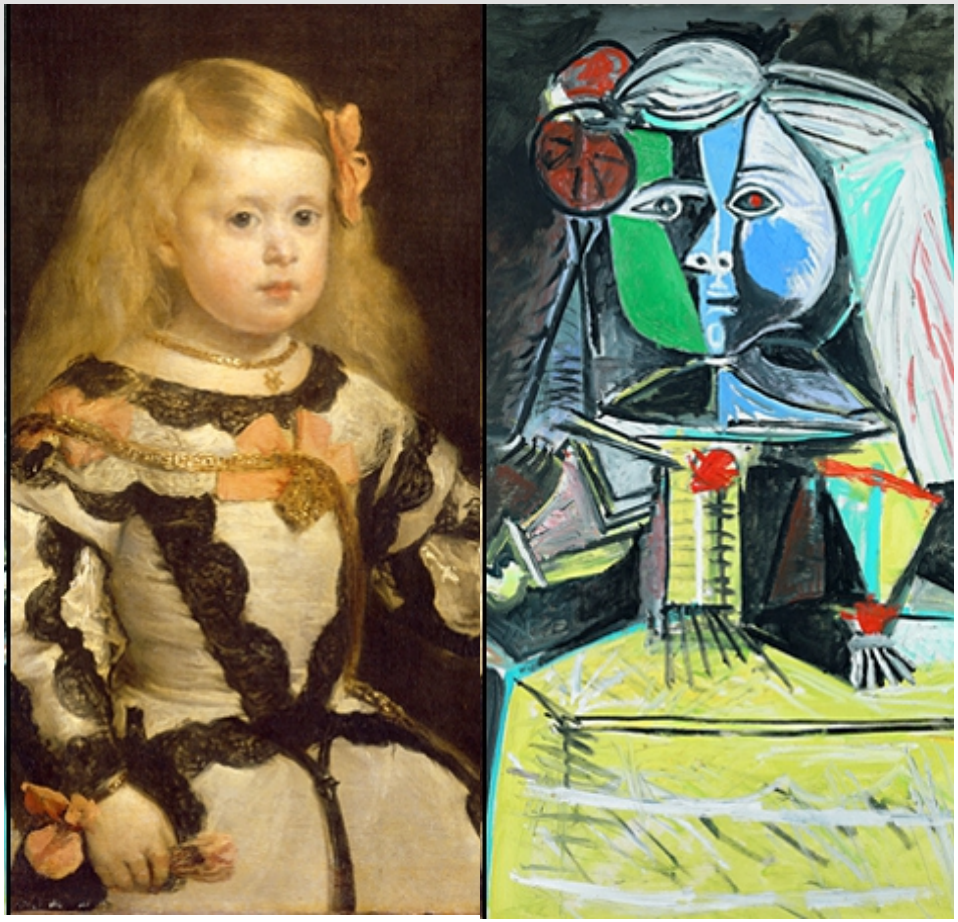
- Violação de CP nos decaimentos dos mésons K's e B's, podem ser explicados pelo Modelo Padrão
- Entretanto ela não explica toda a violação de CP necessária para entender a assimetria matéria anti-matéria do Universo

$$\text{Universe:} \quad \frac{N_B - N_{\bar{B}}}{N_B + N_{\bar{B}}} = 10^{-9} \sim 10^{-10}$$

$$\text{Standard Model:} \quad \frac{N_B - N_{\bar{B}}}{N_B + N_{\bar{B}}} = \sim 10^{-20}$$

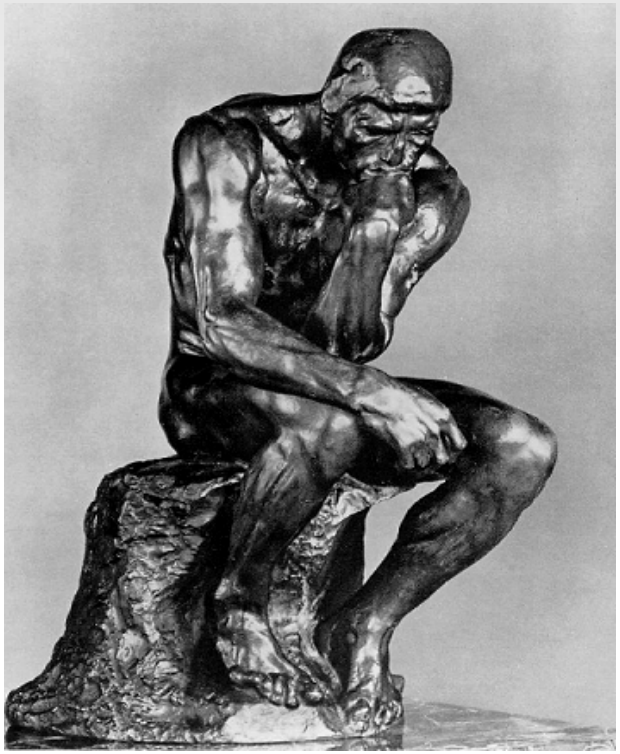
- Novas fontes de violação de CP são necessárias

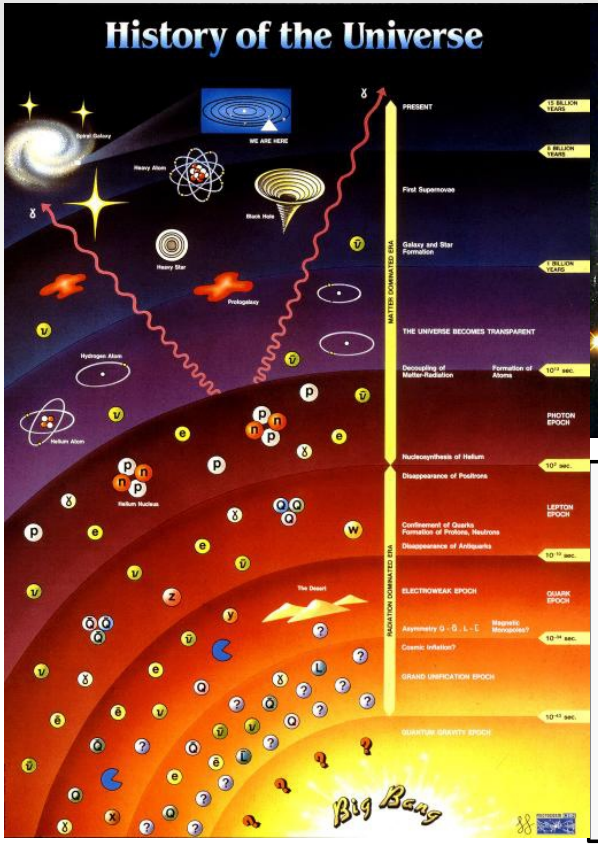
# Necessária uma nova fonte importante de violação de CP

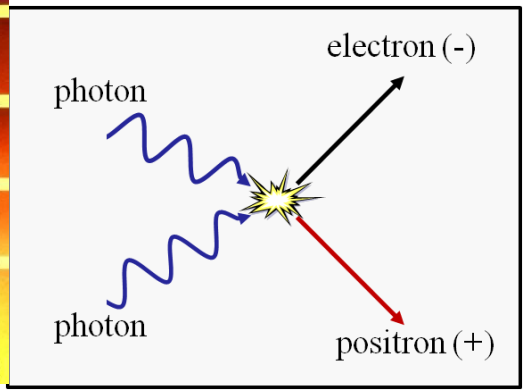


**Las Meninas de Velásquez a Picasso**

# Início do Universo???







Obrigado

# RENAFAE 10 ANOS

## *Coordenando e promovendo a física de altas energias no Brasil*

A Rede Nacional de Física de Altas Energias (RENAFAE) foi criada há dez anos, pelo então Ministério da Ciência e Tecnologia. Seu principal objetivo é coordenar as atividades dos grupos de pesquisadores brasileiros que atuam em física de altas energias e, em particular, aquelas associadas às grandes colaborações internacionais da área.

O Brasil participa de várias dessas colaborações internacionais em laboratórios na Europa, nos EUA, na Argentina e, mais recentemente, no Chile. Os trabalhos nesses laboratórios se dão de forma colaborativa: diversas instituições de pesquisa, de diferentes partes do planeta, se organizam para trabalharem juntas, com objetivos científicos bem definidos. São grandes projetos que buscam expandir a fronteira do conhecimento na ciência fundamental.

A área de altas energias compreende duas subáreas distintas. A primeira envolve grandes aceleradores de partículas, existentes apenas nos EUA e na Europa. A outra se organiza em torno de grandes observatórios, voltados para o estudo dos raios cósmicos de altíssimas energias e fenômenos relacionados às chamadas astropartículas. Mesmo com características e objetos de estudo diferentes, esses dois setores têm forte interação entre si, a qual se dá, por exemplo, por meio dos processos empregados para a detecção das partículas – as quais apresentam várias características em comum.

Essas duas subáreas têm também a mesma forma de organização do trabalho: cada grupo se responsabiliza por parte do projeto, da construção e instalação de um detector ou do desenvolvimento tanto de um *software* quanto de uma rede de computação de apoio à tomada e análise dos dados coletados pelos detectores. Os dados obtidos por meio das colisões nos aceleradores, bem como aqueles coletados nos observatórios de astropartículas, são de livre acesso para todos os participantes dessas colaborações.

O forte apoio financeiro e político que a física de altas energias tem recebido em todos os países desenvolvidos – além da China e Índia – se deve não só ao impacto científico e cultural dessa área na sociedade – exemplo recente disso é a descoberta do bóson de Higgs –, mas também às tecnologias dela resultantes, vindas das pesquisas feitas em aceleradores de partículas, da construção de detectores complexos, de novos protocolos e práticas para o processamento de grande quantidade de dados (conhecido como *big data*). Boa parte desses avanços – que geralmente se transformam em riqueza para as nações e bem-estar para a população – é feita em parceria com empresas privadas de alta tecnologia.

Nestes dez anos de existência da RENAFAE, tivemos um crescimento substancial, praticamente dobrando tanto o número de participantes envolvidos em experimentos de física de altas energias quanto o de instituições de ensino e pesquisa atuantes na Rede. Hoje, o Brasil conta com pouco mais de 120 pesquisadores de 20 instituições nacionais envolvidos diretamente em grandes colaborações internacionais nesse campo – se incluirmos técnicos e estudantes, esse número chega à casa de 200 colaboradores. Além disso, há, no país, cerca de uma centena de físicos teóricos que se dedicam à área de altas energias.

Apesar das várias dificuldades que vivenciamos nesta década da vida, a unidade dos vários grupos participantes foi mantida em torno da RENAFAE, o que, sem dúvida, foi fator determinante para sua manutenção e seu fortalecimento ao longo deste período. Para os próximos anos, esperamos operar mudanças significativas no funcionamento da Rede, de forma a adequá-la à sua importância e às suas novas dimensões no contexto da física brasileira.

IGNÁCIO BEDIAGA
CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS


PRESIDENTE DA REPÚBLICA
Michel Temer

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
Gilberto Kassab

DIRETORIA DE GESTÃO DAS UNIDADES DE PESQUISA E ORGANIZAÇÕES SOCIAIS
Gustavo Zarif Frayha

EDITOR CIENTÍFICO
Ignácio Bediaga (CBPF)

REDAÇÃO (EM INGLÊS)
Aveena Jones

TRADUÇÃO
Alicia Ivanissevich

EDIÇÃO DE TEXTO
Cássio Leite Vieira (MCS-CBPF)

PROJETO GRÁFICO
Ampersand Comunicação Gráfica
amperdesig.com.br

COLABOROU
Carola Dobrigkeit Chinellato (UNICAMP)

CONSELHO TÉCNICO-CIENTÍFICO DA RENAFAE

PRESIDENTE
Ignácio Bediaga (CBPF)

SECRETÁRIA
Carola Dobrigkeit Chinellato (UNICAMP)

Eduardo de Moraes Gregores (UFABC)
Glivan Augusto Alves (CBPF)
João Torres de Mello Neto (UFRJ)
José Manoel de Seixas (COPPE/UFRJ)
Marcelo Gameiro Munhoz (USP)
Ricardo Avelino Gomes (UFG)
Ronald Cintra Shellard (CBPF)
Sérgio Ferraz Novaes (IFT/UNESP)

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS
Rua Dr. Xavier Sigaud, 150
22290-180 - Rio de Janeiro - RJ
Tel: (0xx21) 2141-7100 Fax: (0xx21) 2141-7400
Internet: http://www.cbpf.br

MEMBROS INSTITUCIONAIS

CBPF | Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
PUC-Rio | Pontifícia Universidade Católica do RJ
UEFS | Universidade Estadual de Feira de Santana
UERJ | Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFABC | Universidade Federal do ABC (SP)
UFBA | Universidade Federal da Bahia
UFF | Universidade Federal Fluminense
UFG | Universidade Federal de Goiás
UFJF | Universidade Federal de Juiz de Fora (MG)
UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ | Instituto de Física
UFRJ | Coppe
UFSCAR | Universidade Federal de São Carlos
UFSJ | Universidade Federal de São João del-Rei
UFTM | Universidade Federal do Triângulo Mineiro
UNESP | Universidade Estadual de São Paulo
UNICAMP | Universidade Estadual de Campinas
UNIFAL/MG | Universidade Federal de Alfenas (MG)
USP | Instituto de Física
USP | Instituto de Física de São Carlos


CBPF

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

10 ANOS

# RENAFAE

REDE NACIONAL DE FÍSICA DE ALTAS ENERGIAS

### Grande Colisor de Hádrons (LHC)

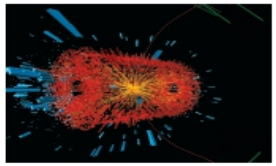
O LHC é um acelerador de partículas localizado num túnel circular com 27 km de comprimento a 100 metros de profundidade. Contém 1.740 ímãs supercondutores, cada um medindo 14 metros de comprimento e operando a uma temperatura de 271°C negativos.

O LHC promove a colisão entre grupos de prótons ou entre estes e outros núcleos, todos se propagando a velocidades muito próximas à da luz (300 mil km/s). A cada segundo, ocorrem cerca de 40 milhões desses choques a energias sete vezes maiores do que a atingida no acelerador mais poderoso que o precedeu. A energia atingida nas colisões entre prótons corresponde, aproximadamente, a 13 mil vezes a energia de repouso do próton, ou seja, à massa de repouso do próton vezes o quadrado da velocidade da luz.

Nessas colisões, uma parte da energia pode ser transformada em novas partículas de vida curta que, por sua vez, podem dar pistas sobre como a natureza se comporta em um nível tão fundamental.

O LHC é parte do laboratório internacional CERN (Centro Europeu de Pesquisas Nucleares), na fronteira entre a Suíça e a França. Há lá mais de 12 mil usuários de todas as partes do mundo – entre eles, 135 pesquisadores de instituições brasileiras, trabalhando em diferentes experimentos.

## ATLAS e CMS | CBPF, IF/POLI/COPPE-UFRJ, UERJ, UFABC, UFJF, UFSJ, UNESP, UNICAMP, USP



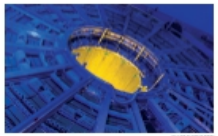
No LHC, os detectores ATLAS e CMS são experimentos com amplos propósitos científicos, sendo cada um deles desenvolvido por uma colaboração internacional dedicada a explorar todo o potencial da resultados e descobertas no amplo campo da física que o LHC proporciona. Esses dois detectores são cilíndricos – com seu eixo principal coincidente com a direção dos feixes colidentes iniciais – e com diferentes camadas de sensores que permitem medir propriedades de diversas partículas e, por meio dos dados obtidos, revelar o panorama de eventos que ocorrem no coração da colisão.

Esses dois experimentos científicos, capazes de efetuar medidas com extrema precisão, ajudam a avançar as fronteiras do conhecimento por meio da busca de respostas a questões fundamentais, como: De que são feitos os blocos básicos da matéria? Quais são as forças fundamentais da natureza? Poderia existir uma simetria subjacente ainda desconhecida em nosso universo?

Nessas máquinas, de complexidade ímpar, os físicos também testam previsões do Modelo Padrão das Partículas Elementares e Interações Fundamentais, um ferramental teórico que define nosso entendimento atual sobre os constituintes da matéria e sobre como eles interagem.

Esses estudos podem levar a descobertas que rompem paradigmas – como foi o caso da recente detecção do bóson de Higgs – e a uma física que está além do Modelo Padrão. Os estudos contribuem também para o desenvolvimento de novas teorias voltadas a descrever o nosso universo com maior precisão e profundidade.

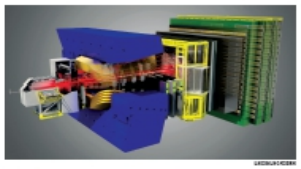
## ALICE | USP, UNICAMP, UFABC e UFRGS



O ALICE, acrônimo em inglês para 'Um Grande Experimento de Colisor de Íons', a um dos maiores experimentos do mundo, voltado à pesquisa sobre a física da matéria nuclear e seus constituintes mais elementares, buscando respostas para questões fundamentais da natureza. Ele é formado por um complexo arranjo de detectores de partículas, as quais, por sua vez, são produzidas em colisões entre íons pesados, explorando o potencial único das interações núcleo-núcleo, quando acelerados às energias altíssimas do LHC.

O objetivo desse experimento é estudar a física da interação forte – aquela que mantém o núcleo atômico e seus constituintes coesos –, a densidades de energia extremas, nas quais se espera a formação de uma nova fase da matéria, o chamado plasma de *quarks* e glúons, que se supõe ter existido nos instantes iniciais do nosso universo, logo após o *Big Bang*.

## LHCb | CBPF, PUC-Rio, UFRJ e UFTM



O LHCb, outro detector situado no túnel do LHC, é um experimento criado para entender o que aconteceu logo após o *Big Bang* e que permitiu à matéria sobreviver e formar o universo que habitamos hoje.

O objetivo do LHCb é registrar o decaimento de partículas contendo quarks b e anti-b, conhecidos em seu conjunto como hádrons b. Essas partículas têm uma propriedade importante a ser explorada, para determinar por que o *Big Bang* privilegiou a matéria em detrimento da antimatéria – esta última, rara no universo.

O detector de 4,5 mil toneladas do experimento filtra essas partículas, bem como os produtos de seus decaimentos.

## Participação brasileira nos experimentos do LHC

Os grupos brasileiros participam do LHC desde o início da década de 1990, contribuindo para o projeto e a construção desses detectores e, mais recentemente, para as análises dos dados coletados nos últimos anos.

Na construção dos detectores, houve participação brasileira em várias áreas: no desenvolvimento da eletrônica dos detectores, a qual envolve escalas de tempo de nanossegundos (bilionésimos de segundo); na construção da parte dos detectores que posteriormente foram instalados no CERN; no desenvolvimento de *software* de controle e de análise dos dados; no desenvolvimento e na operação do sistema GRID de computação, incluindo a operação de quatro centros desse tipo de computação no Brasil.

Em 2018, todos os quatro experimentos se preparam para um aprimoramento em vários de seus componentes de detecção, ou seja, um *upgrade* com o objetivo principal de aumentar a frequência de colisões e a taxa de aquisição dos dados. Todos os grupos brasileiros estão envolvidos nesse *upgrade*, com a participação direta de pesquisadores, estudantes e técnicos em vários aspectos do desenvolvimento tecnológico que essas mudanças nos detectores acarretam.

## OBSERVATÓRIO PIERRE AUGER | CBPF, USP, UNICAMP, UEFS, UFBA, UFABC, UFRJ e UFF

O Observatório Pierre Auger foi construído para possibilitar a detecção e o estudo dos raios cósmicos mais energéticos conhecidos. O Observatório Auger, localizado na Argentina, na província de Mendoza, é o maior arranjo de detectores de partículas já construído até hoje e distingue-se de seus antecessores por empregar dois métodos independentes para estudar esses raios cósmicos de altíssimas energias.

Quando uma partícula cósmica adentra a atmosfera, ela interage com um núcleo do ar, dando origem a sucessivas gerações de novas partículas de energias menores e criando o chamado 'chuveiro', constituído de milhões (ou bilhões) de partículas que chegam ao solo. O Observatório Auger mede esses chuveiros atmosféricos.

Uma das técnicas empregadas nas medidas consiste em detectar as partículas que chegam ao solo por meio de suas interações com a água superpura estocada em tanques especiais instrumentados. A segunda técnica rastreia a evolução dos chuveiros atmosféricos quando estes atravessam a atmosfera. Isso é feito por meio da observação da luz ultravioleta emitida, a grandes altitudes, pela interação entre as partículas do chuveiro e as moléculas de nitrogênio na atmosfera.

Com 1.660 detectores espalhados sobre 3 mil km² e 27 telescópios, o Observatório Auger permite observar e caracterizar partículas cósmicas com as maiores energias produzidas no universo, bem como procurar entender a origem dos fenômenos que as levam a atingir essas energias extremas.

A Colaboração Pierre Auger inclui cerca de 500 cientistas dos seguintes países: Alemanha, Argentina, Austrália, Brasil, Colômbia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, França, Holanda, Itália, México, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Tcheca e Romênia.

## DUNE | CBPF, UFABC, UNICAMP, UNIFAL, UFRJ, UEFS, UFG e UFSCAR

As partículas fugidias chamadas neutrinos são estudadas em experimentos desenvolvidos no laboratório de altas energias norte-americano Fermilab, nas proximidades de Chicago. Esses experimentos podem revelar um entendimento mais profundo de nosso universo.

Detectados em 1956, os neutrinos têm características misteriosas que, se reveladas, podem nos ajudar a entender alguns princípios básicos da natureza. Neutrinos são dotados de massas muito pequenas se comparadas às de outras partículas elementares e também são capazes de oscilar, ou seja, mudar de um tipo em outro ao se deslocarem.

A Divisão de Neutrinos do Fermilab é a casa de pesquisadores de vários países do mundo – incluindo o Brasil –, mantendo uma atividade científica de primeira linha em experimentos com essas partículas.

A Divisão de Neutrinos do Fermilab desenvolve vários programas; entre eles, o experimento NOvA, que tomará dados até 2023, e o experimento DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment).

No DUNE, provê-se a produção de um feixe de neutrinos – gerado no Fermilab, no estado de Illinois – que se propagará sob a terra e chegará ao detector localizado em uma mina desativada no estado da Dakota do Sul, a 1,3 mil km de distância. A baixa taxa de interação dos neutrinos com a matéria permite esse longo deslocamento subterrâneo, com uma perda mínima de intensidade do feixe.

## ALPHA | IF-UFRJ

ALPHA é uma colaboração internacional sediada no CERN. Seu objetivo é a comparação precisa entre anti-hidrogênio e hidrogênio, o que requereu aprender a formar e aprisionar magneticamente o antiátomo. O anti-hidrogênio consiste de um antipróton e de um antielétron, correspondendo – como diz o nome – à antimatéria do átomo de hidrogênio.

O ALPHA, usando uma cavidade óptica ressonante construída na UFRJ, conseguiu realizar recentemente o primeiro espectro a laser do anti-hidrogênio medindo a frequência na transição 1S-2S (chamada K para L) com 12 algarismos significativos. Comparar hidrogênio e anti-hidrogênio em alta precisão permite aos pesquisadores envolvidos buscar possíveis diferenças fundamentais entre o comportamento da matéria e da antimatéria.

## CTA | CBPF, UFRJ, UFSJ, USP e UFABC

O Observatório CTA – sigla derivada do acrônimo, em inglês, para Rede de Telescópios Cherenkov – representa a próxima geração de instrumentos para detectar objetos astrofísicos que sejam fontes cósmicas de raios gama.

O projeto do CTA envolve a construção de dois sítios de telescópios, um no hemisfério Norte, Ilhas Canárias (Espanha), e outro no hemisfério Sul, planejado para o Chile. Esse amplo conjunto de telescópios será um observatório de acesso livre e aberto à comunidade internacional de astrofísicos.

O CTA permitirá um mergulho profundo nos fenômenos cósmicos que se revelam por meio de raios gama de altíssimas energias. Seus objetivos podem ser agrupados em três temas principais: entender a origem dos raios gama e seu papel no universo; compreender a natureza e os mecanismos de aceleração de partículas nas proximidades dos buracos negros; buscar pela natureza última da matéria e por uma física além do Modelo Padrão.