E se existirem outras dimensões?

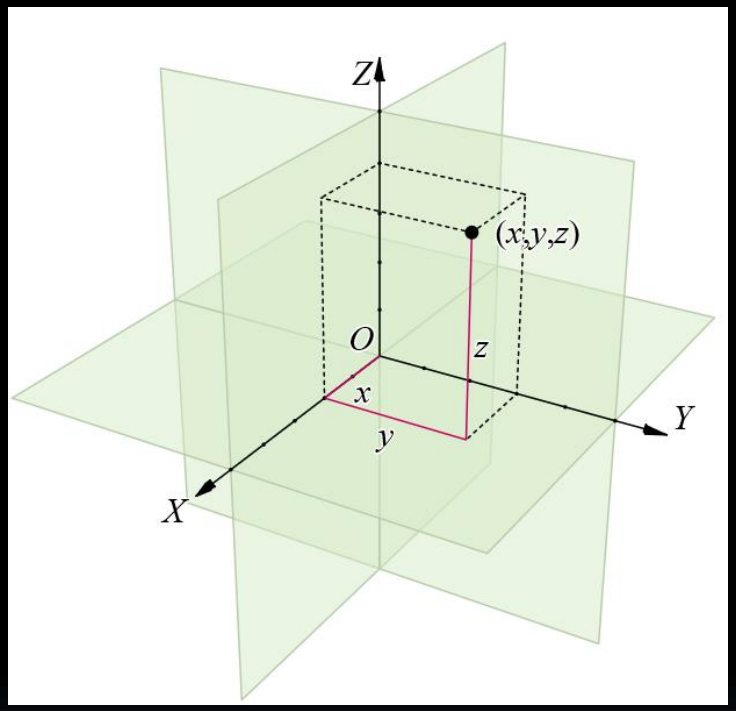
Gilvan A. Alves – CBPF

Sumário

- O que são dimensões?
  - Conceito de dimensão
  - Dimensão oculta?
- Porque procurar outras dimensões?
  - Forças da natureza
  - Gravitação
- Como procurar outras dimensões?
  - LHC
  - Outros

O que são dimensões?

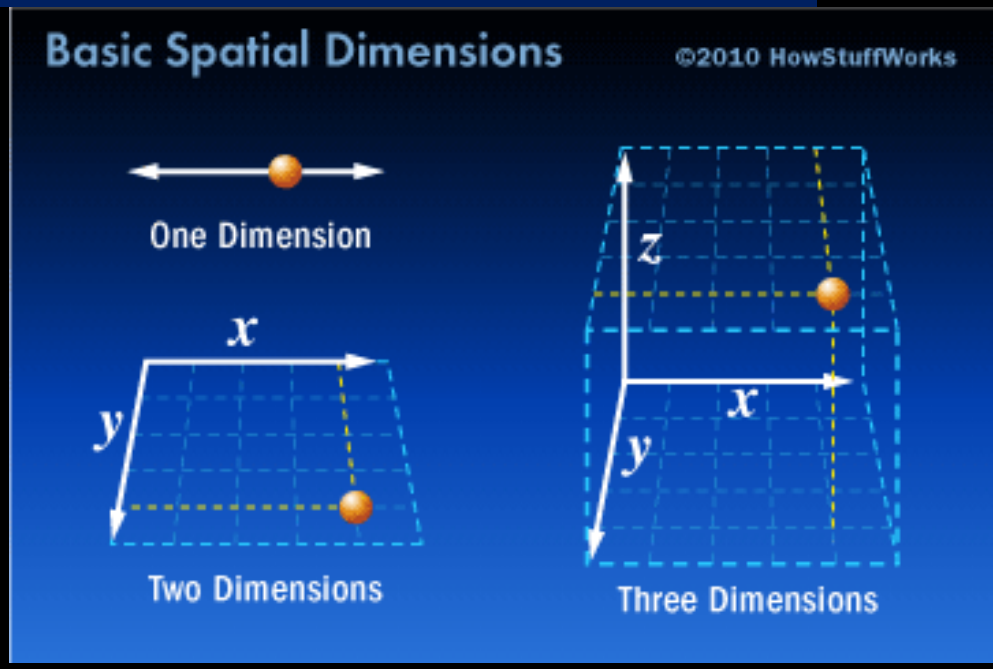
- Intuitivamente percebemos o espaço como tendo 3 dimensões



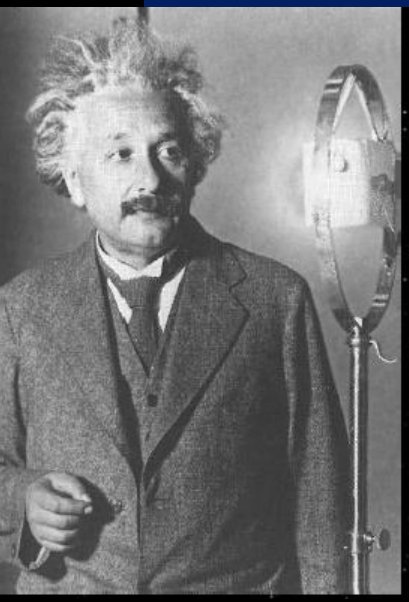
- Matematicamente: quantas coordenadas para definir um ponto
- René Descartes (1637) formalizou a representação 3D

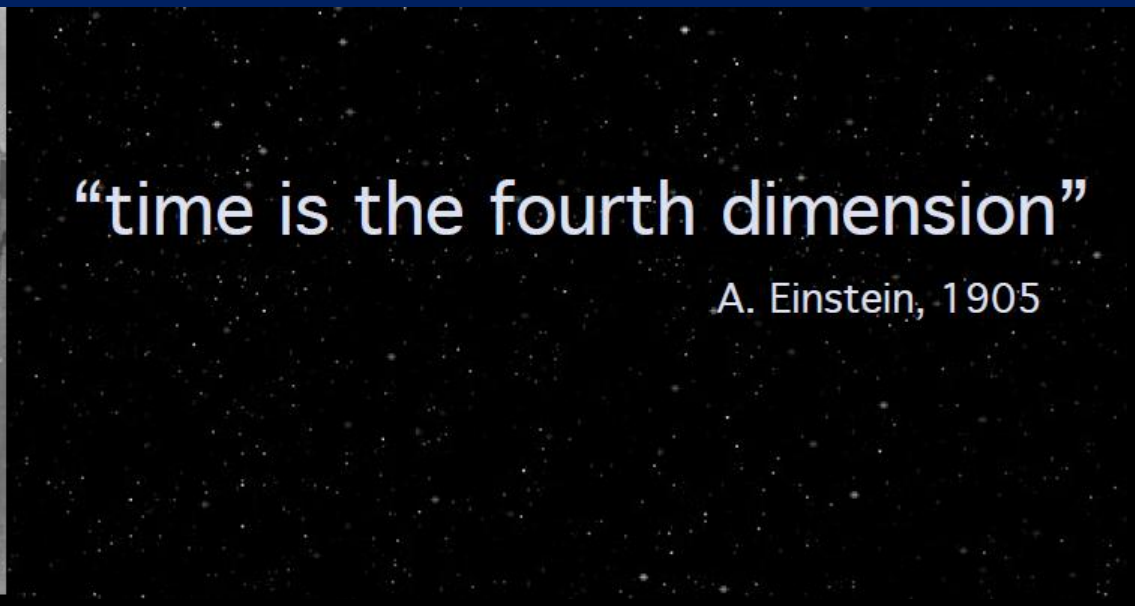
Porque 3D?

- Imagine uma pérola num fio: 1D
  - Outras dimensões inacessíveis
  - Uma coordenada basta
- Jogo de batalha naval: 2D
  - Movimento no plano
  - Duas coordenadas
- Experiência quotidiana
  - Caixa (C, L, A)
  - Três coordenadas



E a 4a dimensão?



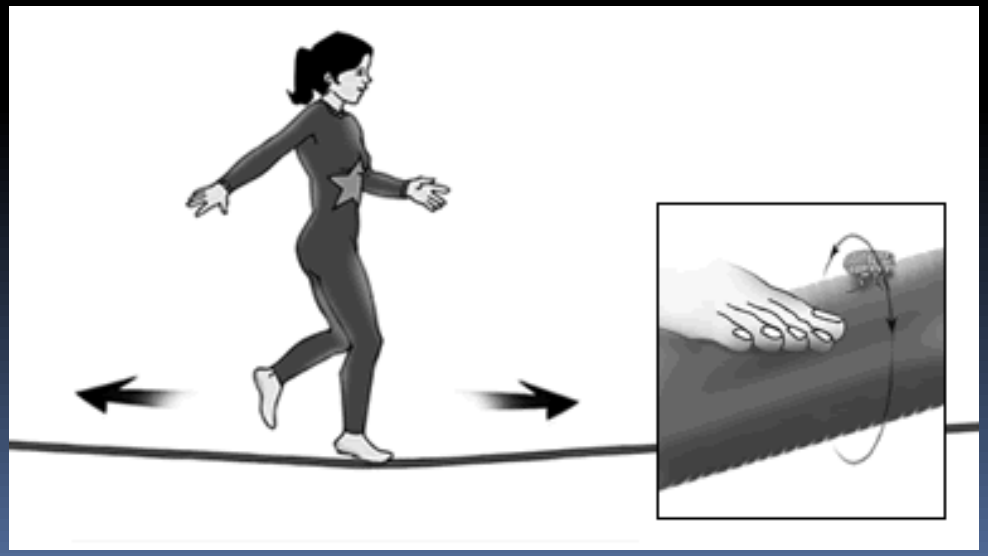


- Imagine um avião em voo
  - Definimos sua posição com 4 coordenadas
  - x, y, z, t
  - Einstein denominou esse conjunto Espaço-tempo

E a 5a dimensão?

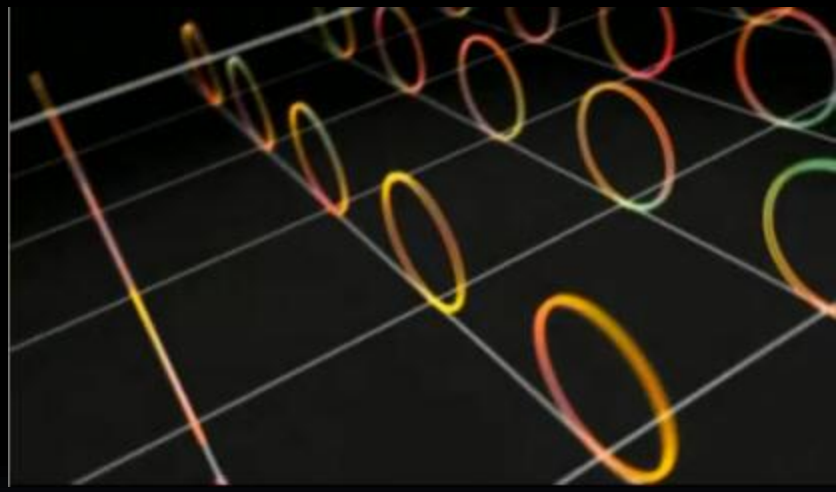
- Existe um limite no número de dimensões?
  - Matematicamente, não
  - Fisicamente, depende de alguns fatores

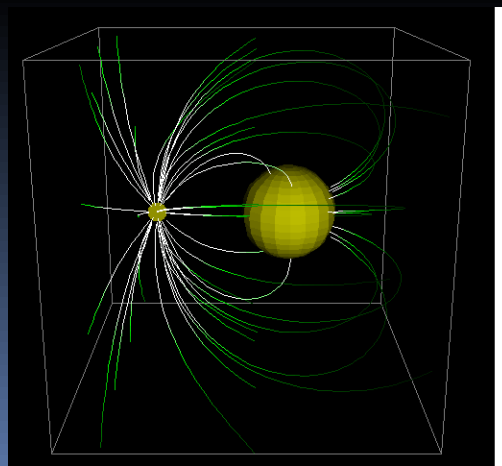
- Qual a extensão física de uma dimensão?
  - As 4 que conhecemos podem ser infinitas
  - Uma dimensão muito pequena pode passar desapercebida

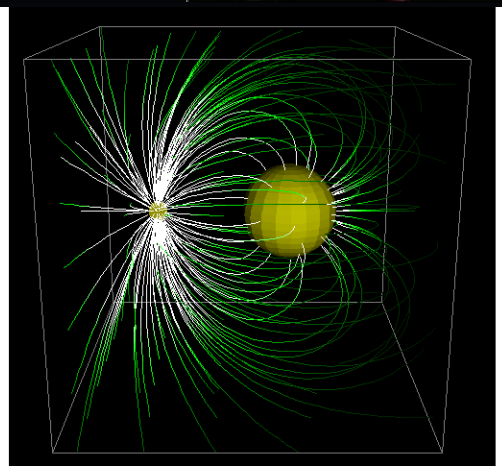


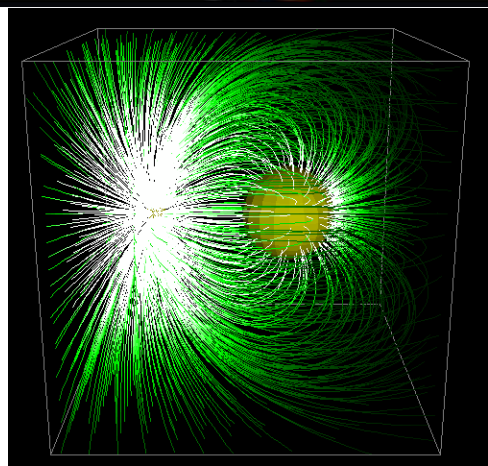
Dimensão oculta?

- Uma dimensão fechada e microscópica pode permanecer oculta
  - As 4 que conhecemos podem ser infinitas
  - Uma dimensão muito pequena pode passar desapercebida
  - Partículas poderiam acessar essas dimensões
  - O mesmo valeria para campos









Porque outras dimensões?

- Porque não?
  - Simples curiosidade
  - Quais as consequências?
  - Partículas poderiam se mover nessas dimensões?
  - Teriamos cópias com altas massas

- Pode ajudar na solução de alguns problemas na física
  - Unificação das Forças da Natureza

ESTRUTURA ELEMENTAR DA MATÉRIA

PARTÍCULAS MEDIADORAS

Interação Eletromagnética

FÓTON

Interação Fraca

W^+ Z^0 W^-

Interação Forte

GLÚON

Interação Gravitacional

GRÁVITON

QUARKS

u (up)	c (charm)	t (top)
d (down)	s (strange)	b (bottom)

LÉPTONS

ν_e (neutrino e)	ν_μ (neutrino μ)	ν_τ (neutrino τ)
e (elétron)	μ (múon)	τ (tau)

Léptons

Léptons são partículas que interagem por meio das interações eletromagnética e fraca. Há três famílias de léptons, cada uma composta por um lépton carregado, que interage eletromagnética e fracamente, e por um neutrino, que interage apenas fracamente.

Os **elétrons** (e) são estáveis e compõem a eletrosfera que envolve o núcleo dos átomos, sendo os responsáveis pelas ligações químicas entre os elementos. Em movimento, produzem a corrente elétrica e geram campos magnéticos. Os léptons **múon** (μ) e **tau** (τ) possuem características similares às do elétron, mas são muito mais pesados e instáveis, decaindo rapidamente em partículas mais leves.

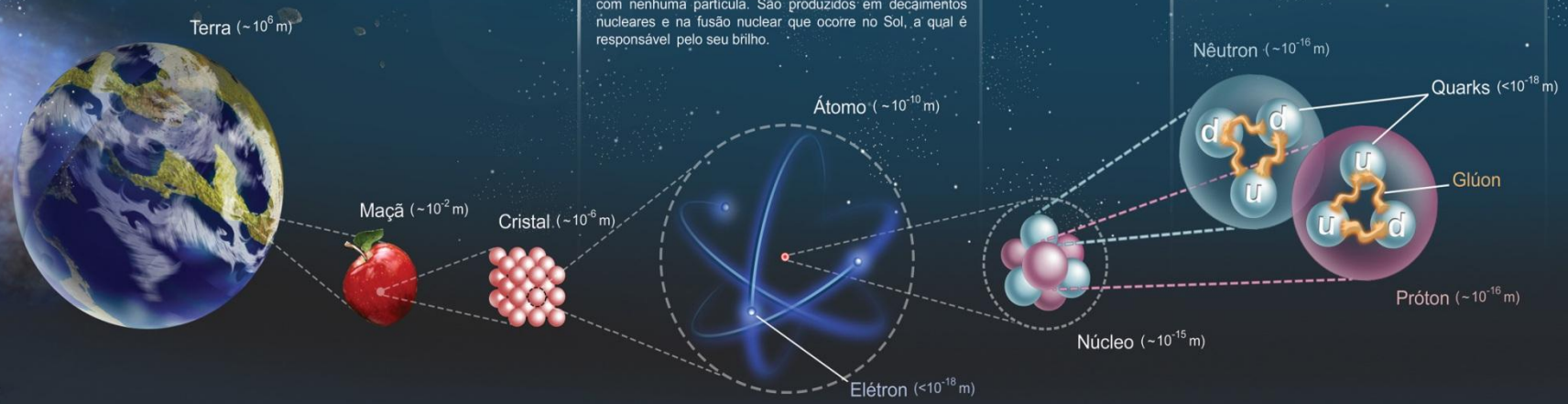
Os **neutrinos** (ν) são extremamente leves, não possuem carga elétrica e interagem muito fracamente, a ponto de serem capazes de atravessar toda a Terra sem se chocar com nenhuma partícula. São produzidos em decaimentos nucleares e na fusão nuclear que ocorre no Sol, a qual é responsável pelo seu brilho.

Quarks

Quarks são partículas que interagem por meio das interações eletromagnética, fraca e forte, e possuem carga elétrica fracionária (+2/3 e -1/3), além das "cargas de cor" relativas à interação forte. Eles formam os hádrons (três quarks ou um quark e um antiquark) e permanecem confinados dentro deles, não sendo observados em estado livre.

Os quarks da primeira família, **up (u)** e **down (d)**, formam os prótons (uud) e nêutrons (udd) e, portanto, toda a matéria usual, além de diversos mésons, como o pion π^+ ($u\bar{d}$) e o káon K^0 ($d\bar{s}$).

As outras duas famílias de quarks, compostas pelo **strange (s)** e **charm (c)**, e pelo **bottom (b)** e **top (t)**, não formam a matéria usual, sendo apenas produzidas como resultado de colisões entre outras partículas.



Interação Eletromagnética (γ)

O fóton (γ) é o quantum do campo eletromagnético. Toda radiação **eletromagnética**, desde as ondas de rádio e televisão, passando pela luz visível, até os raios ultravioleta e gama, é formada por fótons. Partículas sem massa ou carga, os fótons são responsáveis pela transmissão da interação entre as partículas eletricamente carregadas.

Interação Gravitacional (G)

A interação gravitacional atua sobre todas as partículas e seria intermediada pelo gráviton. No entanto, no mundo subatômico, ela não tem nenhuma influência, já que ela é uma centena de milhão de milhão de milhão de milhão de milhão de milhão (10^{-38}) de vezes mais fraca que as outras três interações.

Interação Fraca (W e Z)

A **interação fraca** é intermediada pelos bósons carregados **W+** e **W-** e pelo bóson neutro **Z°**. A interação fraca é de curtíssimo alcance, agindo em distâncias 1.000 vezes menores que o núcleo atômico, sendo 10.000 mais fraca que a interação eletromagnética. A interação fraca afeta tanto léptons como quarks e é responsável pelo decaimento beta, quando um nêutron se transforma em um próton, emitindo um elétron e seu antineutrino. Ela também desempenha importante papel na geração da energia das estrelas como o Sol.

Interação Forte (g)

O glúon **(g)** desempenha para a **interação forte** papel semelhante ao dos fótons para a interação eletromagnética. Eles são trocados entre partículas que possuem "cargas de cor", como os quarks. As três "cores" são as "cargas fortes" equivalentes às cargas elétricas positiva e negativa. A interação forte é 100 vezes mais intensa que a interação eletromagnética e seu alcance não vai além do núcleo atômico. Ela é responsável por manter os quarks ligados, formando prótons e nêutrons, e seu efeito residual de longa distância mantém prótons e nêutrons unidos, formando o núcleo atômico.

Antipartículas

Toda partícula possui sua antipartícula, com mesma massa e spin, mas com carga oposta. Para diferenciar as antipartículas das partículas, as correspondentes antipartículas são denotadas com uma barra sobre seu símbolo ou então pela troca de carga (+ ↔ −). A matéria formada por antipartículas é chamada de antimatéria.

Para obter mais informações sobre os conceitos apresentados neste cartaz, acesse o site:

http://www.sprace.org.br/eem/

Se você quiser fazer perguntas sobre o tema para especialistas na área ou discutir com seus colegas, acesse o Fórum de Discussão no site:

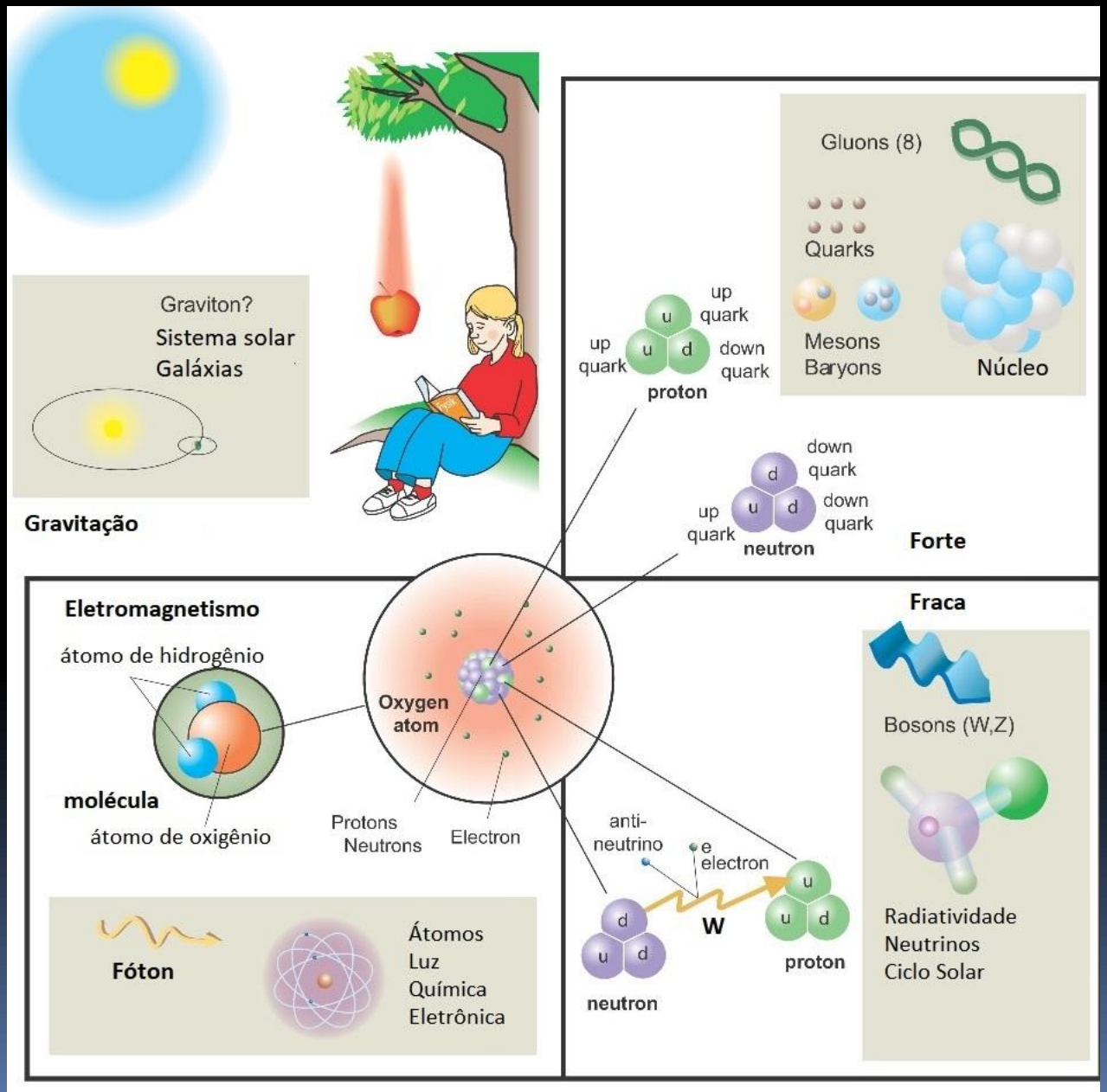
http://www.sprace.org.br/forum/

CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

SPRACE

UFABC Universidade Federal do ABC

Forças da Natureza

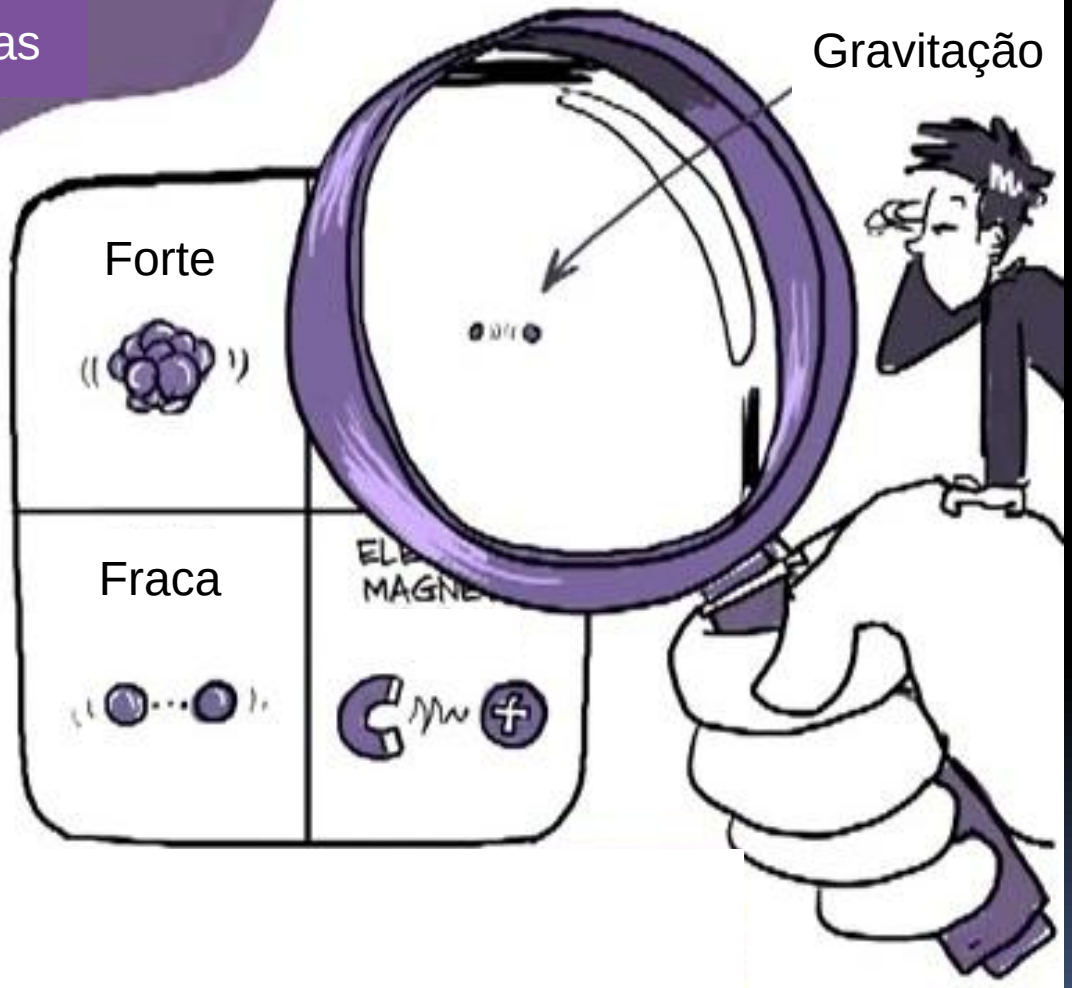


Forças da Natureza

Um dos problemas

Gravitação é muito mais fraca que as outras forças

10^{32} vezes 1000000000000 0000000000000 00000000

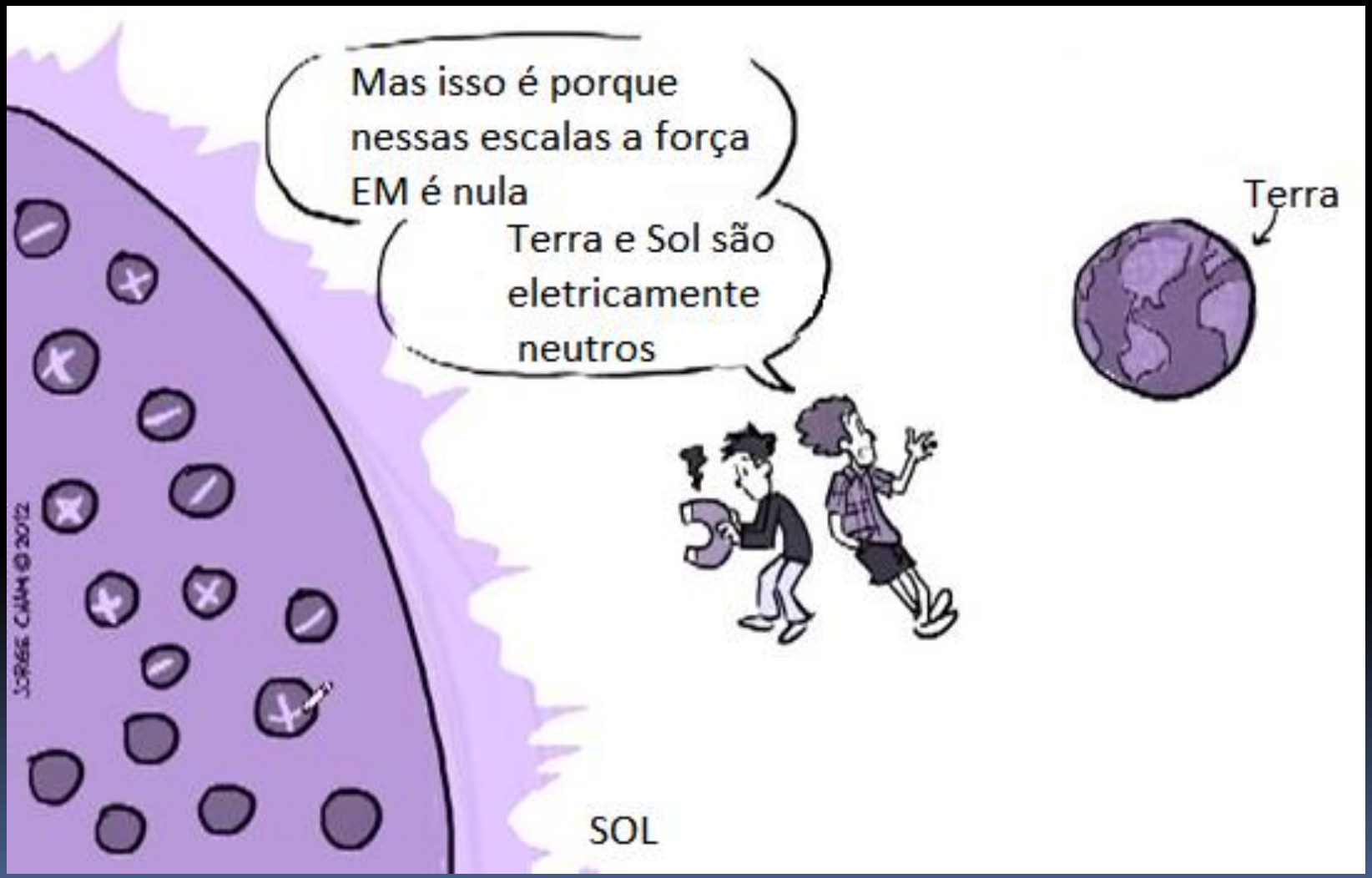


Como assim?

Veja o exemplo de um pequeno imã
Você pode levantar um prego do chão com ele contra a força gravitacional
de todo o planeta Terra!!
Um pequenino imã consegue vencer a força de um planeta!!
E não há explicação para isso

Em larga escala a gravitação é dominante

Em larga escala a gravitação é dominante



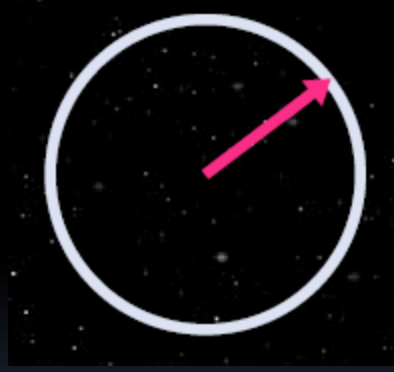
Onde entram as dimensões extras?

- O físico Finlandês Gunnar Nordstrom demonstrou em 1917 que eletromagnetismo e gravitação podem ser unificados em uma teoria com uma dimensão espacial extra.
  - Praticamente ignorada pois usava uma teoria escalar da gravitação desenvolvida por ele.
  - Essa teoria não explicava certos fenômenos (desvio da luz)

- Em 1919 o físico Polonês Theodor Kaluza demonstrou a mesma unificação, com uma dimensão espacial extra, utilizando a teoria de Einstein da Relatividade Geral.
  - Einstein adotou a ideia mas não levou adiante
  - Não havia evidência dessa dimensão extra

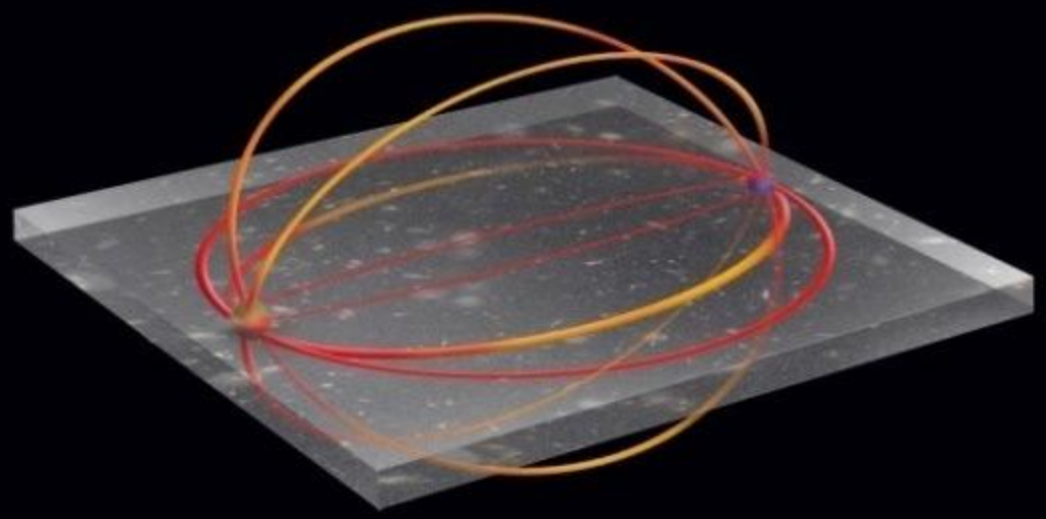
Onde entram as dimensões extras?

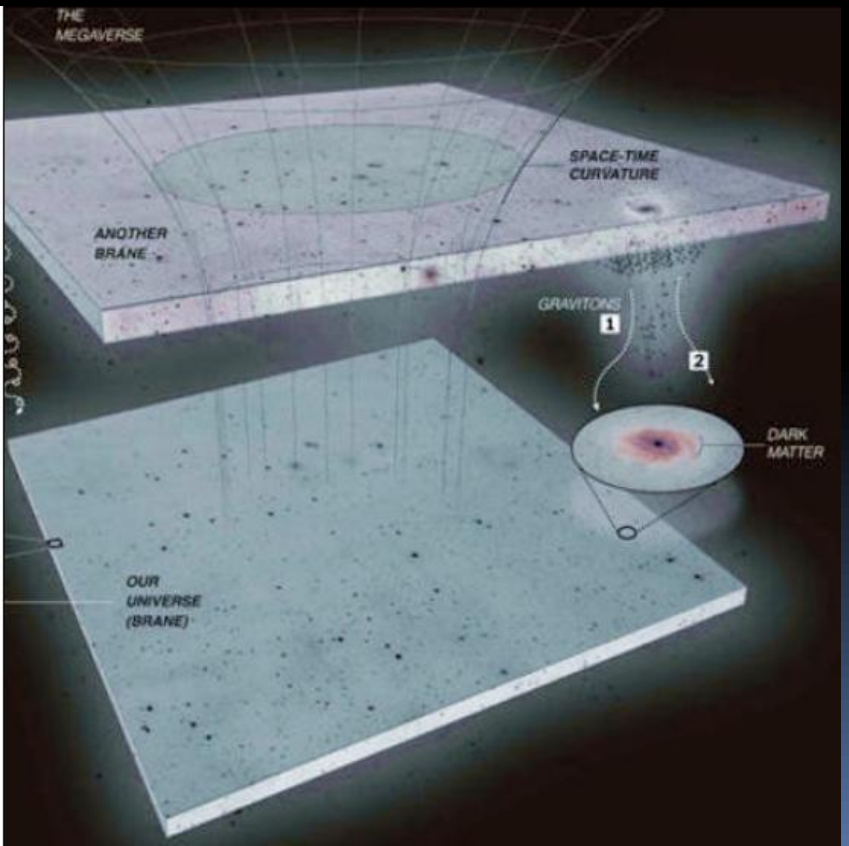
- Somente em 1926 o físico Sueco Oskar Klein demonstrou que era possível essa unificação, com uma dimensão espacial extra fechada e extremamente pequena.
  - Essa dimensão poderia ser da ordem de 10^{-30} cm
  - 0,000000000000000000000000000001 cm
  - Muito pequena para ser observada na época



Que mágica é essa?

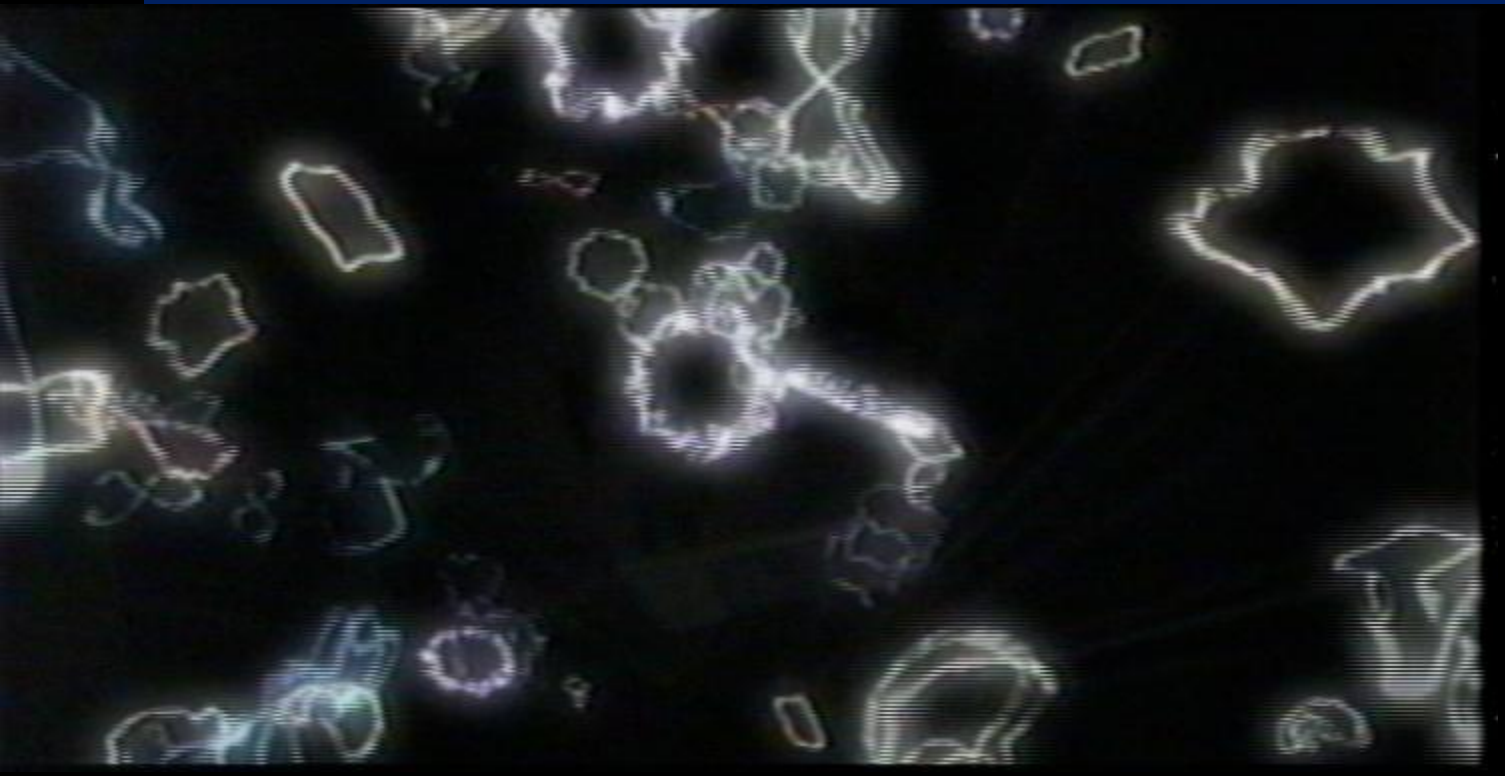
- A ideia básica seria que somente a gravitação se propaga nesta dimensão extra, de forma que seu fluxo em 3D é reduzido.





- Outros campos/partículas estariam confinados em 3D
- Se uma partícula pudesse se propagar na dimensão extra, poderia gerar "cópias pesadas" de si mesma.
- Esta poderia ser a origem da matéria escura.
- Alguns modelos preveem violação CP

Outra motivação



- Matematicamente seria possível unificar todas as forças da natureza (Forte, Fraca, EM, Gravitação) utilizando a teoria de supercordas.
  - Essa teoria só funciona em 10 dimensões!!
  - 3D + T + 6HD
  - Na verdade existem várias teorias de supercordas, algumas com mais de 10D (11, 26)

Como detectar dimensões extras?

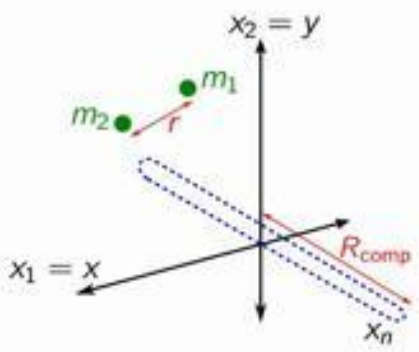
- Por mais interessante e matematicamente correta, essa ideia só faz sentido se houver como detectar essas dimensões.
  - Isso depende das características dessas dimensões
  - Se for suficientemente extensa, podemos detectar efeitos na gravitação em escala sub-milimétrica
  - Só temos verificação experimental na escala de ~1 mm

ADD modified gravity

$$V_{\mathrm{ADD}} = -G_{(4+n)} \frac{m_1 m_2}{r^{1+n}}$$

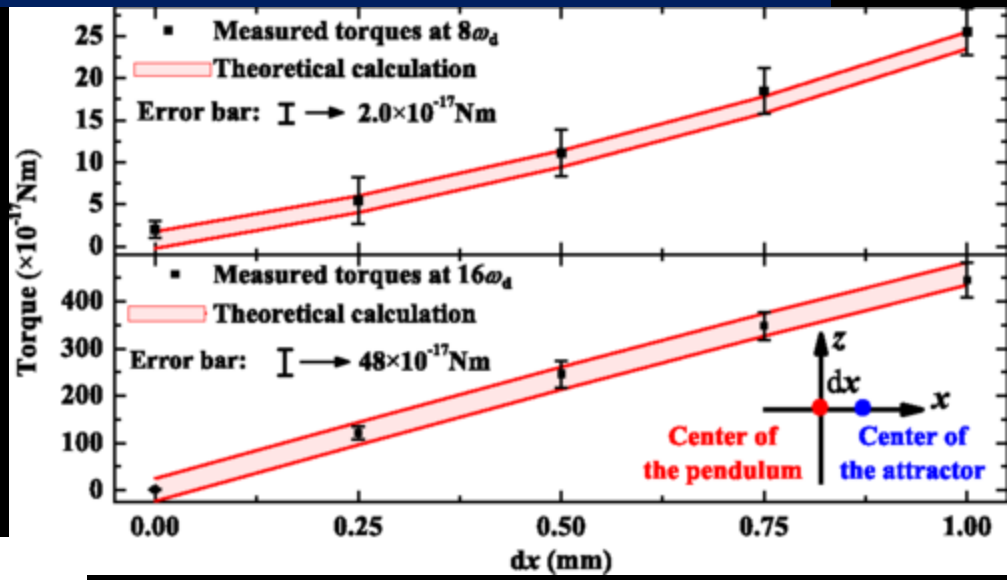
for $r \gg R_{\mathrm{comp}}$

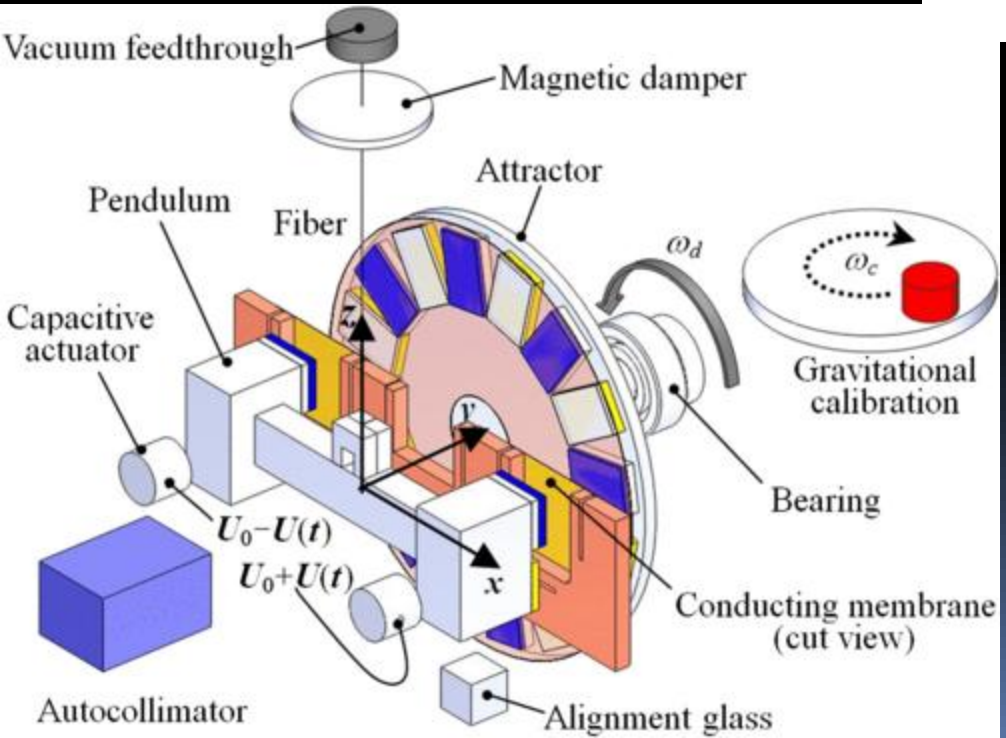
$$V_{\mathrm{ADD}} = -G_{(4+n)} \frac{m_1 m_2}{(R_{\mathrm{comp}})^n r}$$



Como detectar dimensões extras?

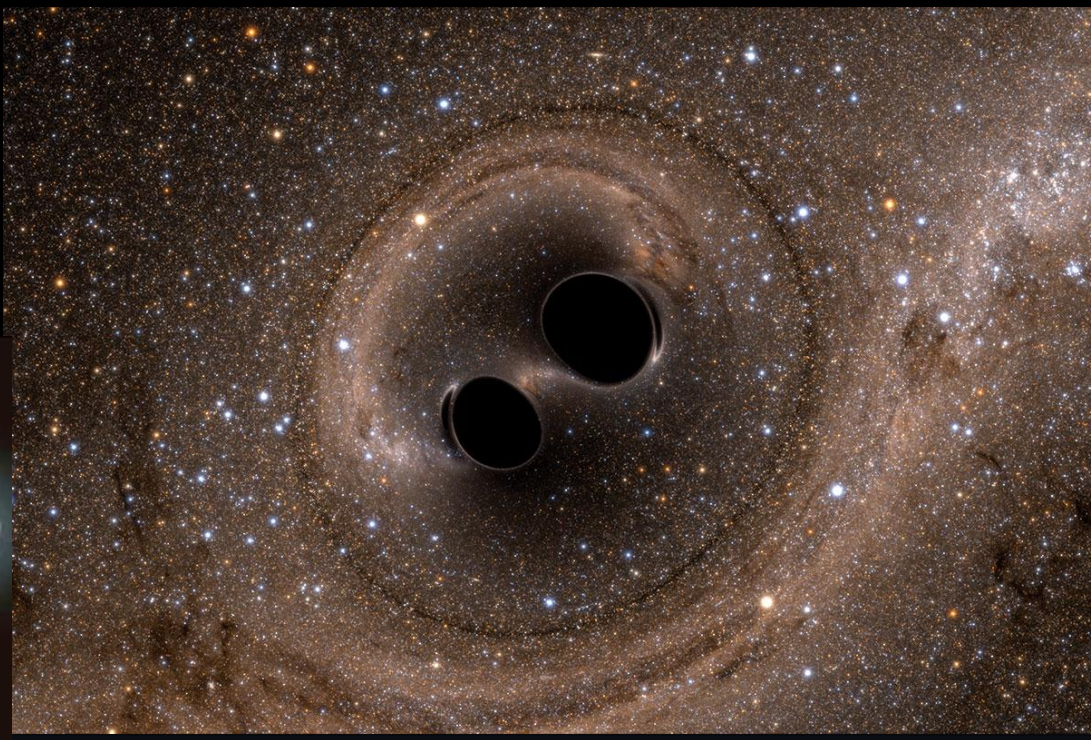
- Não se observam desvios de 1/r
- Novos experimentos estão em andamento

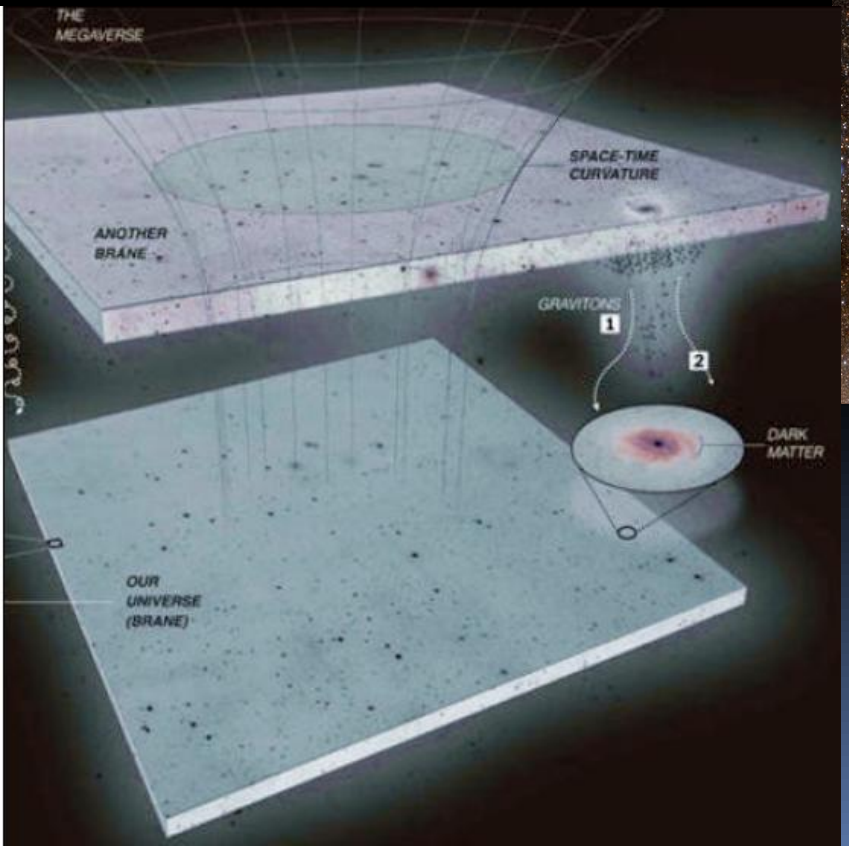




Como detectar dimensões extras?

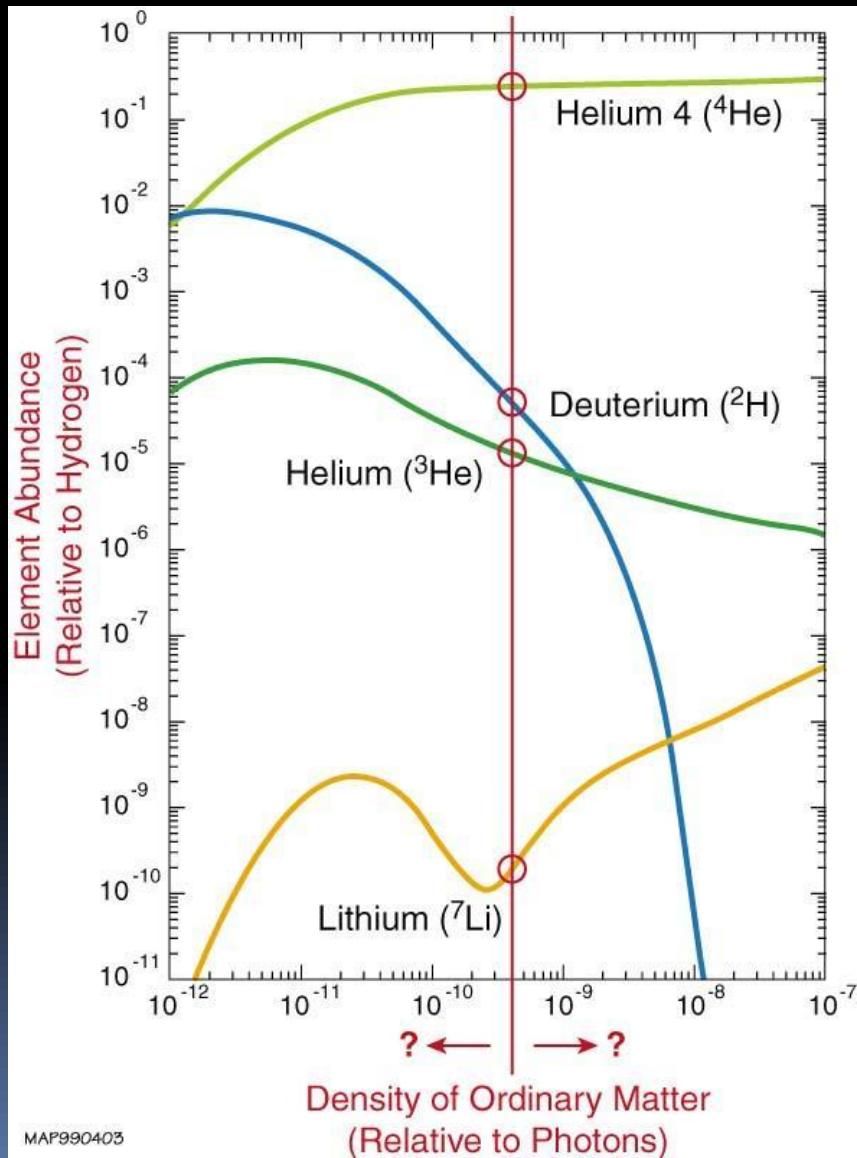
- Dimensões extensas (modelo ADD) podems afetar as ondas gravitacionais.





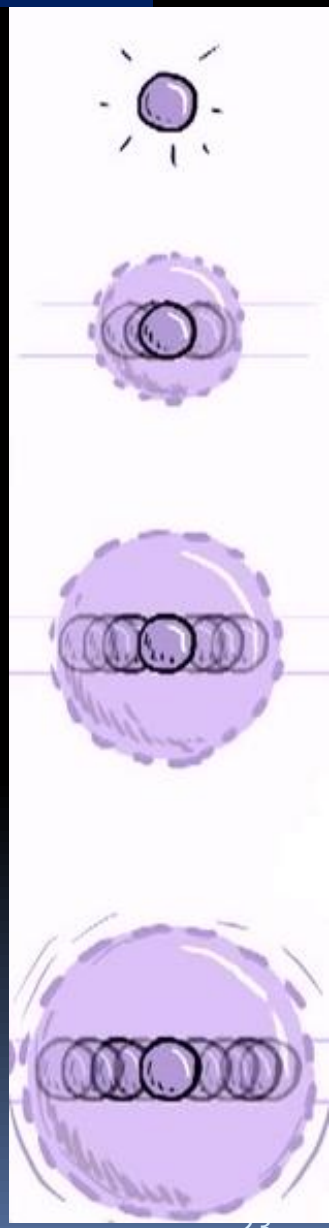
Como detectar dimensões extras?

- Abundância de elementos promordiais no universo (Nucleosíntese no BB) varia se o graviton tem massa (devido a dimensão extra).
  - Usando medidas astrofísicas
  - Mg > 10 TeV para n=2



Como detectar dimensões extras?

- Procurar novos fenômenos no LHC.
  - Se outras partículas podem acessar essas dimensões podemos ter cópias de alta massa (Torre KK)

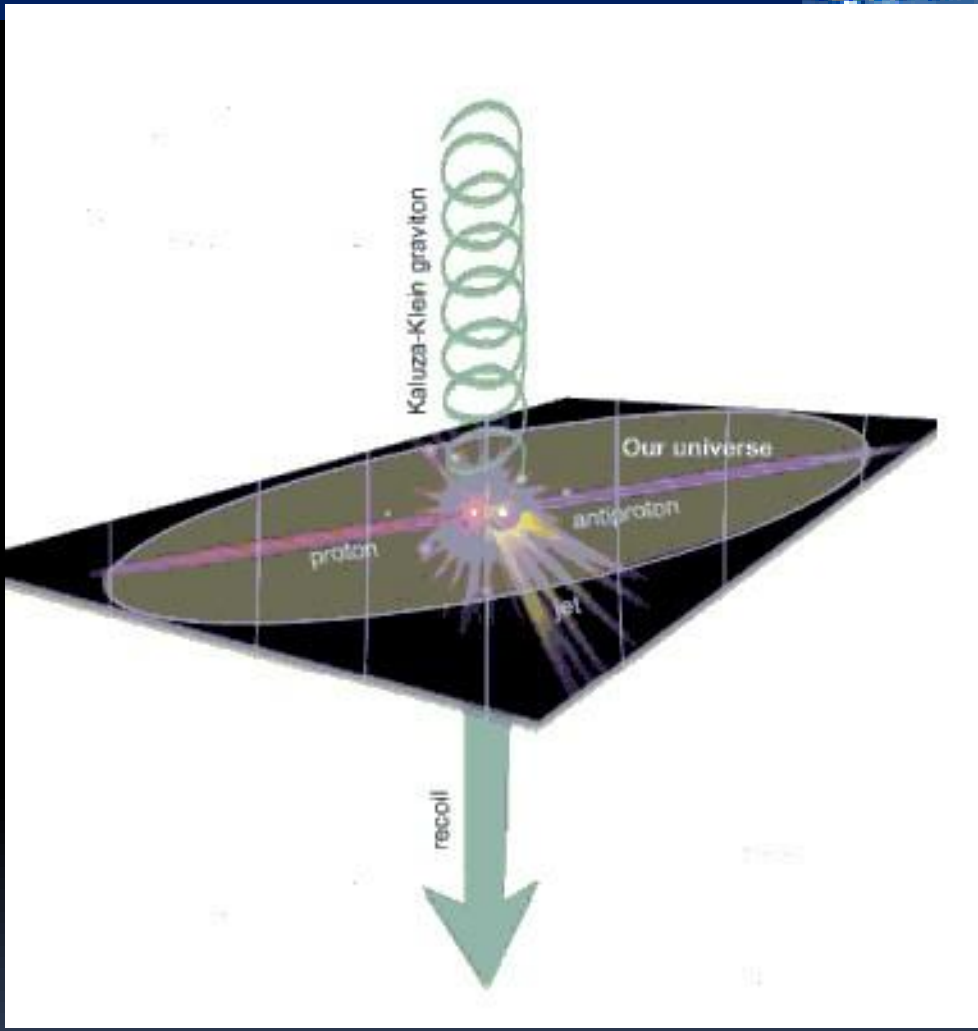


Como detectar dimensões extras?

- Procurar novos fenômenos no LHC.
  - Buracos Negros Quânticos

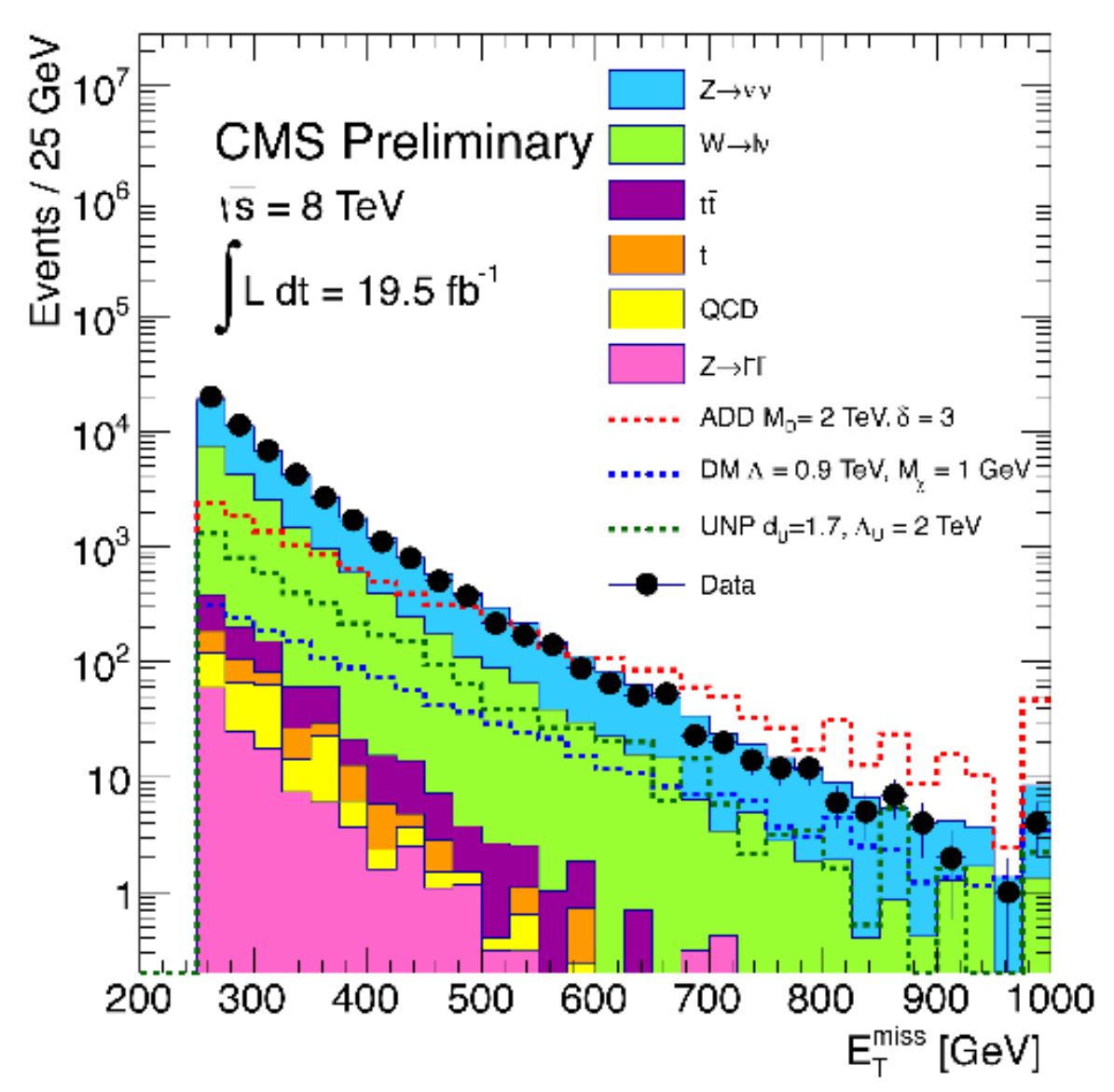
Como detectar dimensões extras?

- Procurar novos fenômenos no LHC.
  - Produção de Gravitons
  - Graviton "desaparece" na dimensão extra
  - Energia perdida
  - Difícil observação (neutrinos)



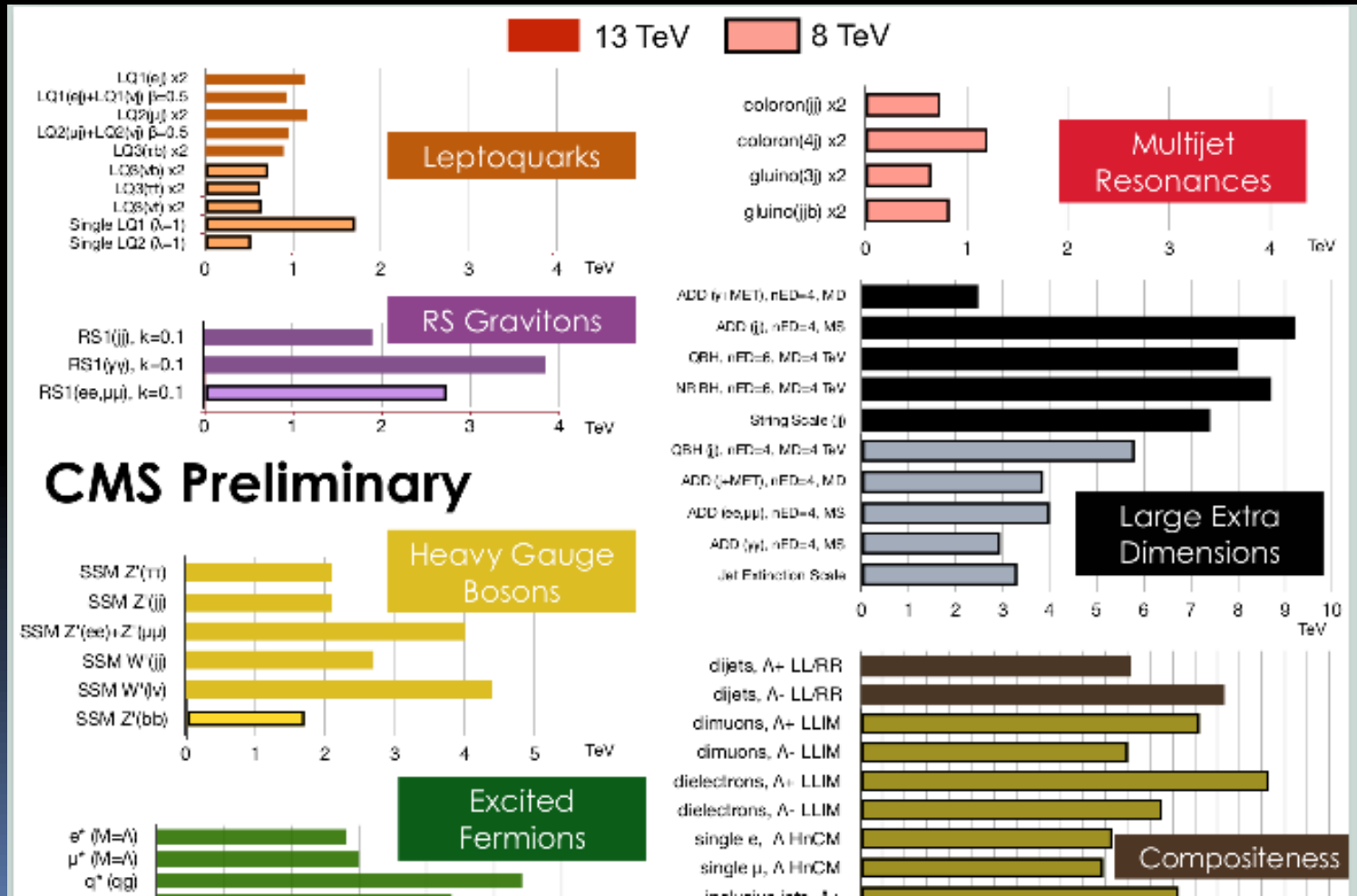
Como detectar dimensões extras?

- Pela distribuição de Energia Perdida (ET miss) obtemos limites na massa de gravitons e dimensões extras.
  - Na figura gravitons de 2 TeV com 3 dimensões extras
  - Matéria escura
  - Partículas exóticas



Como detectar dimensões extras?

- Não se observam desvios do MP. Isso implica em limites para os modelos teóricos com dimensões extras
  - Dependendo do modelo pode se chegar a massas ~ 4 TeV



Conclusões e perspectivas

- Matematicamente não há limitação no número de dimensões espaciais

- Dimensões espaciais extras poderiam (em tese) ajudar na compreensão da fraca magnitude da força gravitacional
  - Comparada as outras forças (10^{-32})
  - Seria possível a unificação com outras forças

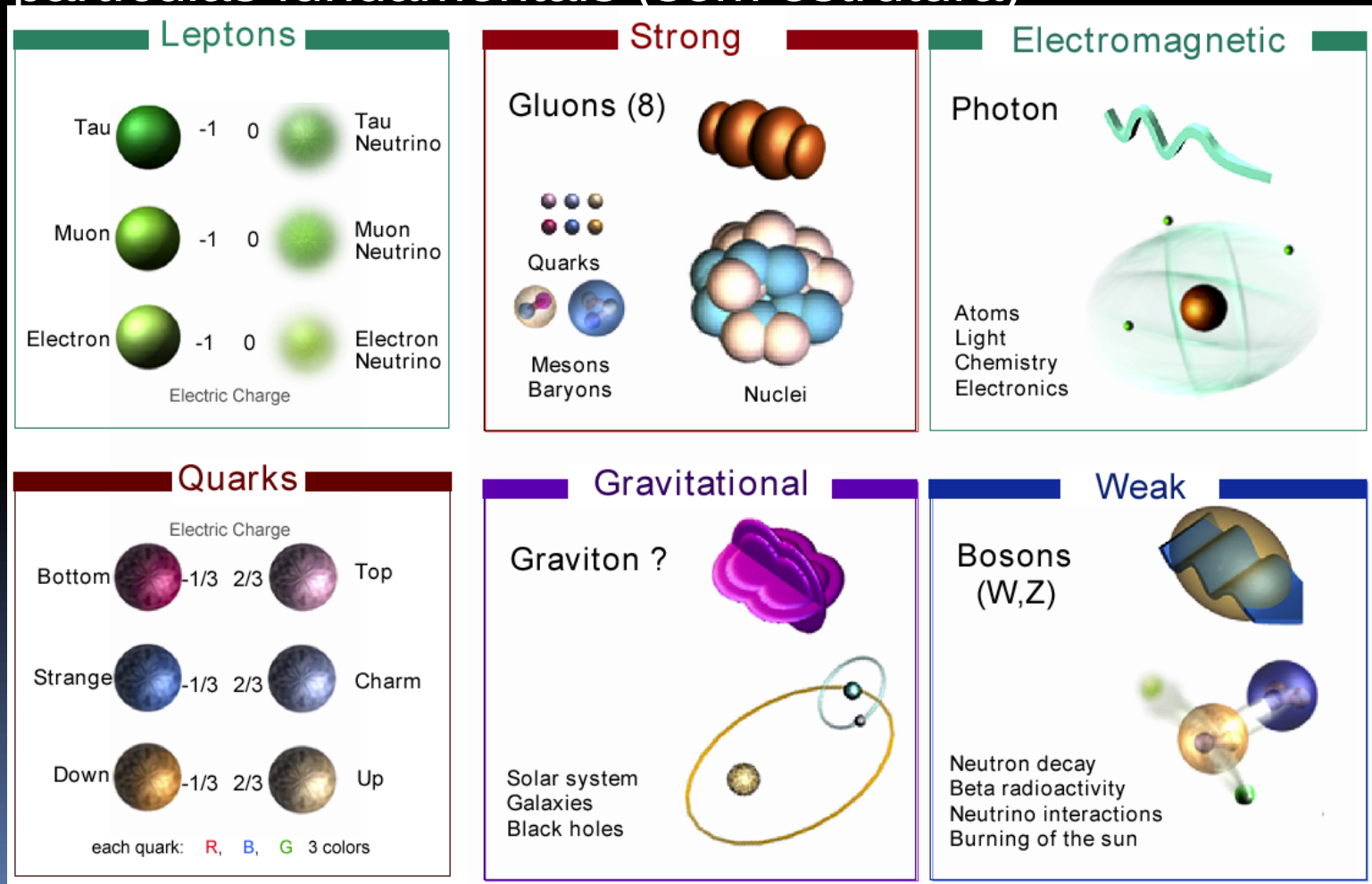
- Até o momento não há evidência experimental de dimensões extras
  - Buscas já foram realizadas em:
    - Gravitação sub-milimétrica
    - Ondas gravitacionais (ainda no começo)
    - LHC
      - Novas partículas massivas
      - Buracos negros quânticos
      - Produção de Gravitons

- A busca continua em todas as frentes

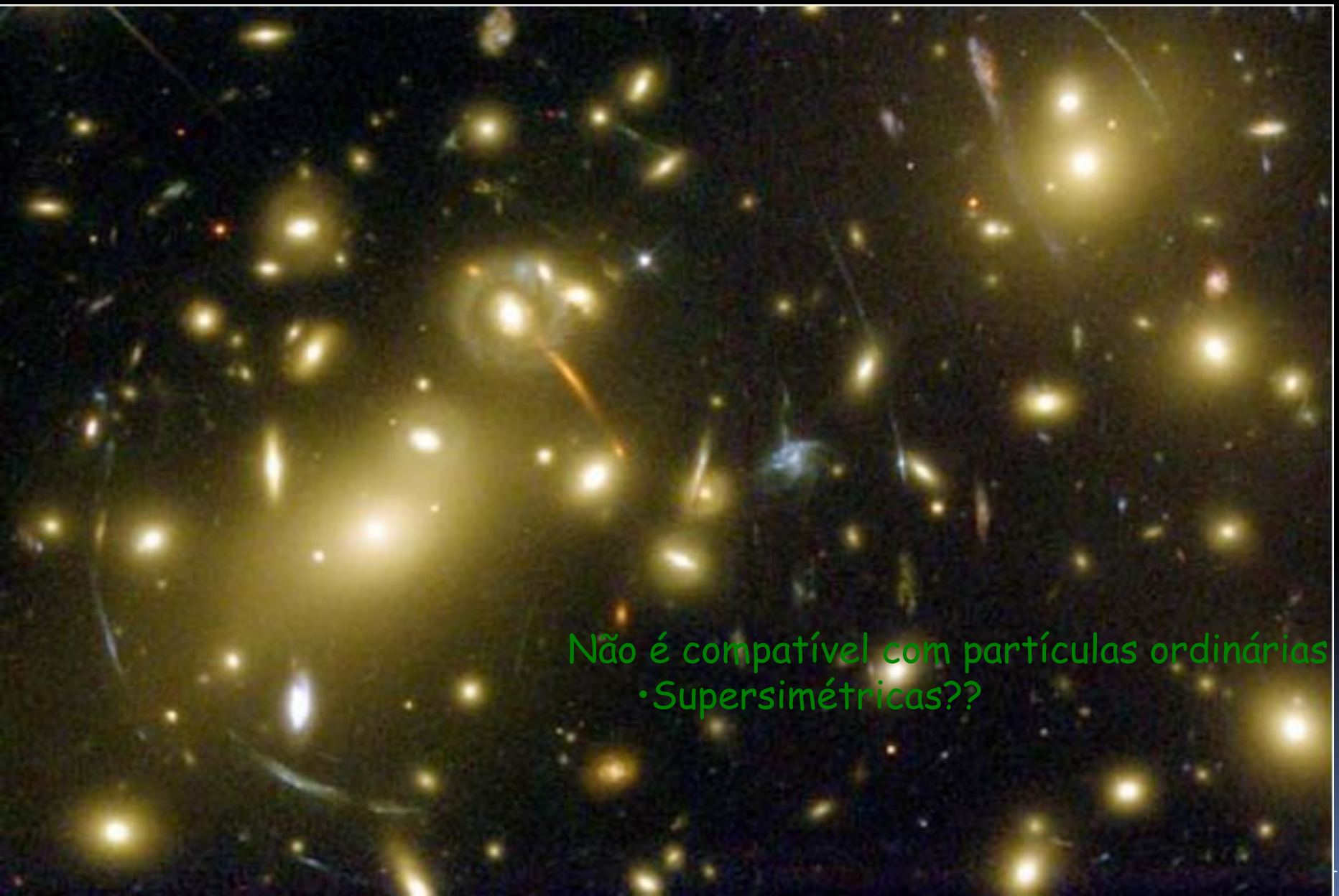
Extra

Modelo Padrão

- 6 quarks e léptons (+ antipartículas)
- 4 interações (mediadores - γ, g, W/Z, graviton?)
- Todas partículas fundamentais (sem estrutura)



Matéria Escura



Não é compatível com partículas ordinárias

- Supersimétricas??

what are superstrings?

- unlike guitar strings, superstrings are not made out of anything, and they have zero thickness!
- unlike guitar strings, which are stretched by tuning pegs, superstrings have to stretch themselves!

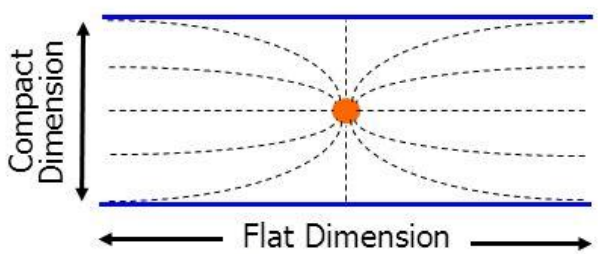
ADD model (Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos, and Gia Dvali)

The ADD Model

- SM fields are localized on the (3+1)-brane; gravity is the only gauge force that "feels" the bulk space
- What about Newton's law?

$$V(r) = \frac{1}{M_{Pl}^2}\frac{m_1 m_2}{r} \rightarrow \frac{1}{\left(M_{Pl}^{[3+n]}\right)^{n+2}}\frac{m_1 m_2}{r^{n+1}}$$

- Ruled out for flat extra dimensions, but has not been ruled out for sufficiently small compactified extra dimensions:



$$V(r) \propto \frac{1}{\left(M_{Pl}^{[3+n]}\right)^{n+2}}\frac{m_1 m_2}{R^n r} \quad \text{for } r >> R$$

- Gravity is fundamentally strong force, bit we do not feel that as it is diluted by the volume of the bulk
- $G'_N = 1/\left(M_{Pl}^{[3+n]}\right)^2 \equiv 1/M_D^2$; $M_D \sim 1$ TeV

$$M_D^{n+2} \propto M_{Pl}^2 / R^n$$

- More precisely, from Gauss's law:

$$R = \frac{1}{2\sqrt{\pi} M_D}\left(\frac{M_{Pl}}{M_D}\right)^{2/n} \propto \begin{cases} 8\times 10^{12}\,m, & n=1 \\ 0.7\,mm, & n=2 \\ 3\,nm, & n=3 \\ 6\times 10^{-12}\,m, & n=4 \end{cases}$$

- Amazing as it is, but no one has tested Newton's law to distances less than ~ 1mm (as of 1998)
- Thus, the fundamental Planck scale could be as low as 1 TeV for n > 1

WHEPP-8 Greg Landsberg, Experimental Probes for Extra Dimensions 6