

Gravidade: Clássica e Quântica

Panoramas da Física



INSTITUTO DE FÍSICA

Universidade Federal Fluminense

Programa

- Breve introdução.
- Relatividade Restrita.
- Relatividade Geral.
 - Idéias fundamentais.
 - Campo fraco: Newton e ondas gravitacionais.
 - Solução de Schwarzschild e buracos negors.
 - Testes.
 - Alcance da teoria.
 - Teorias alternativas.
- Gravidade quântica

Introdução

- A gravidade é uma das 4 forças fundamentais conhecidas.
- É a única força exclusivamente atrativa.
- É a força mais fraca... mas é a que vence no final da história.
- “Atualmente” é descrita pela teoria da Relatividade Geral.
- A RG (e a RR) mudou radicalmente a Ciência do século XX (e.g. o conceito de espaço-tempo).
- Apesar disso, a RG possui “falhas”.
 - Ao contrário das demais forças, a RG não pode ainda ser quantizada.
 - A RG não prevê a aceleração do universo (energia escura) e nem a velocidade de rotação de galáxias (matéria escura).

Relatividade Restrita

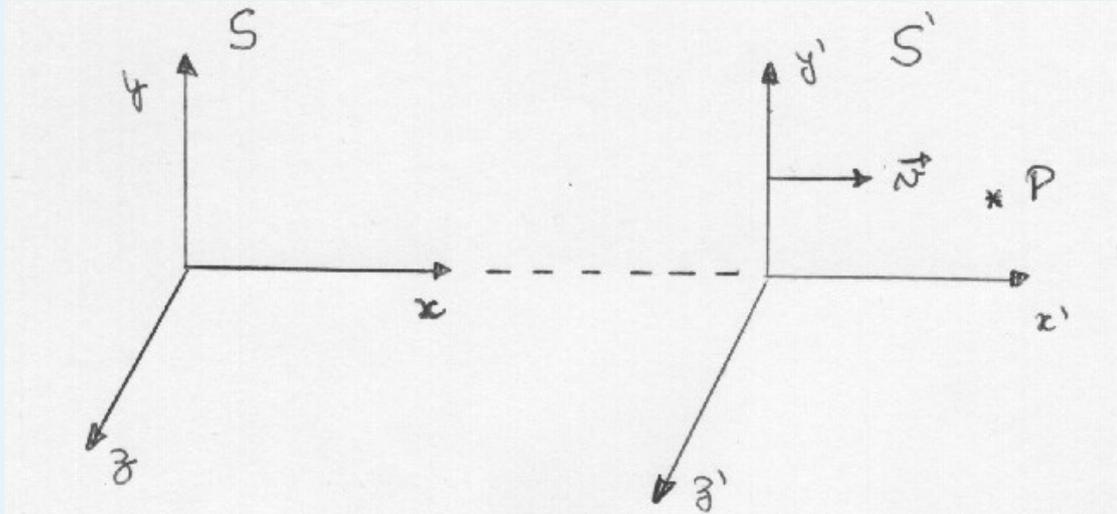
Surgiu em 1905 com o objetivo de harmonizar a Mecânica e o Eletromagnetismo.

A teoria unifica espaço e tempo em um único conceito: o espaço-tempo 4-dimensional.

Princípios básicos:

- As leis físicas são as mesmas em qualquer referencial inercial.
- No vácuo, a luz viaja sempre a uma velocidade fixa, $c = 299.792.458$ m/s.

Transformações de Lorentz vs. Transformações de Galileu.



$$\begin{cases} x' = x - vt \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases}$$

$$\begin{cases} t' = \gamma (t - vx/c^2) \\ x' = \gamma (x - vt) \\ y' = y \\ z' = z \end{cases}$$

Efeitos:

- Simultaneidade.
- Contração de Lorentz.
- Dilatação temporal.
- Exemplo: múon.
- Energia.

$$l = l_0 \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

$$E(\mathbf{v}) = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \mathbf{v}^2/c^2}}$$

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$$



Gravidade

Newton:

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$



Força Gravitacional (atração)

The diagram shows two celestial bodies, Mars (labeled M) and Earth (labeled m), connected by a dashed line representing the distance r. Yellow arrows labeled F point from each body towards the other, indicating the attractive gravitational force.

Isaac Newton

$$F = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

Massas inerciais,
gravitacionais e o princípio
de equivalência.

Num campo gravitacional, todos os corpos caem sob a mesma aceleração.

Um copo cai da mesa da mesma forma que a Lua gira em torno do sol... (?)

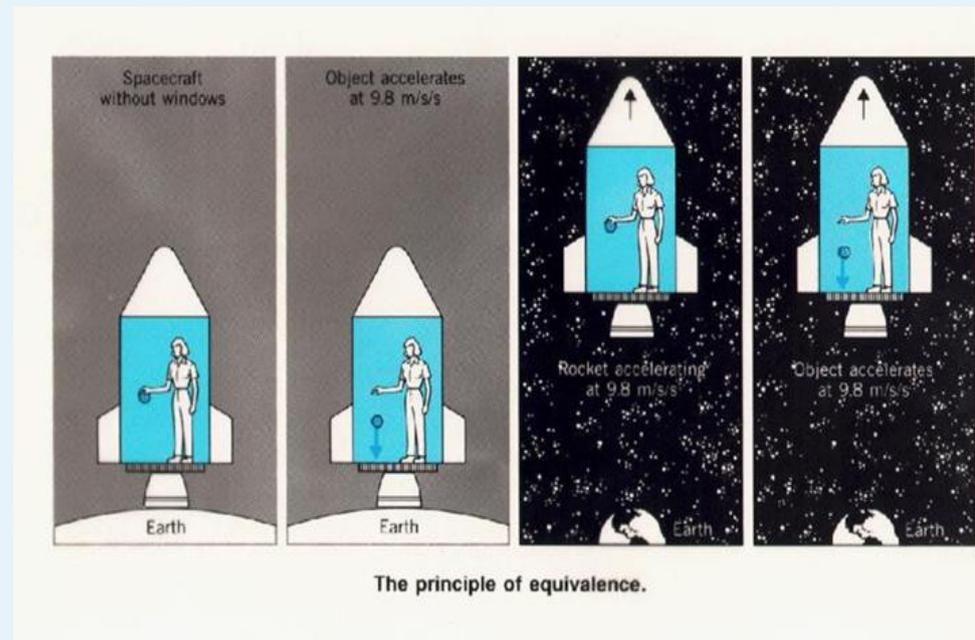


A gravidade não “vê” massas. Mas, ao mesmo tempo, impossibilita a definição de um referencial inercial global pois todos os objetos (num campo gravitacional) estão acelerados.

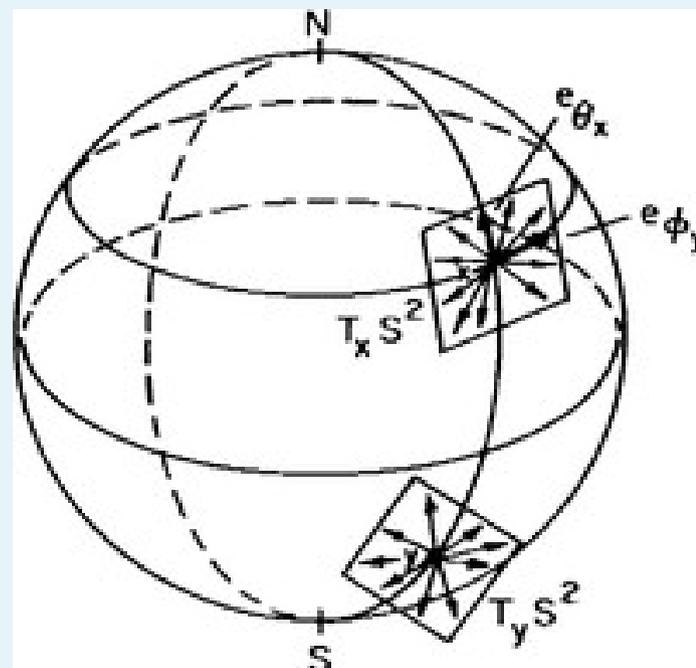
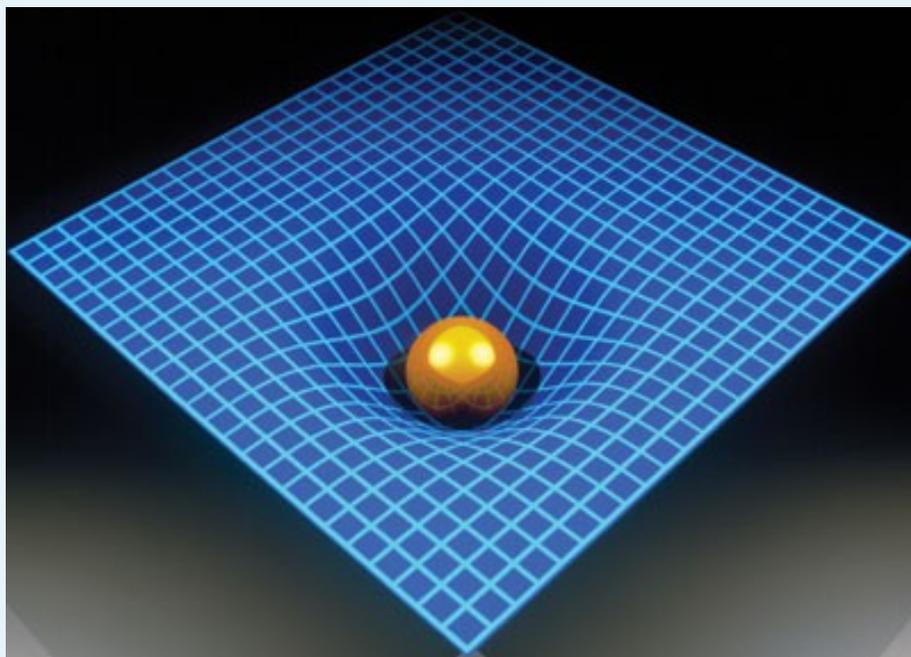
Einstein entendeu que, devido ao princípio de equivalência: sempre podemos (localmente) definir um referencial inercial. Ou seja, localmente, a RR é sempre válida.



Einstein declarou (1915): Todos os corpos parecem cair com a mesma aceleração pois massas deformam o espaço-tempo e vice-versa.



O espaço-tempo é deformado devido a presença de massas. Mas localmente, este espaço deve ser plano, pois a RR deve valer.



Com esta idéia, Einstein abole o conceito de força e o troca pela geometria.

Como descrever a relação matéria-geometria?

Equação de Einstein da RG:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = \alpha T_{\mu\nu}$$

Onde $R=R(g)$ é relacionado a curvatura do espaço, g é o tensor métrico e T é o tensor energia-momento da distribuição de matéria.

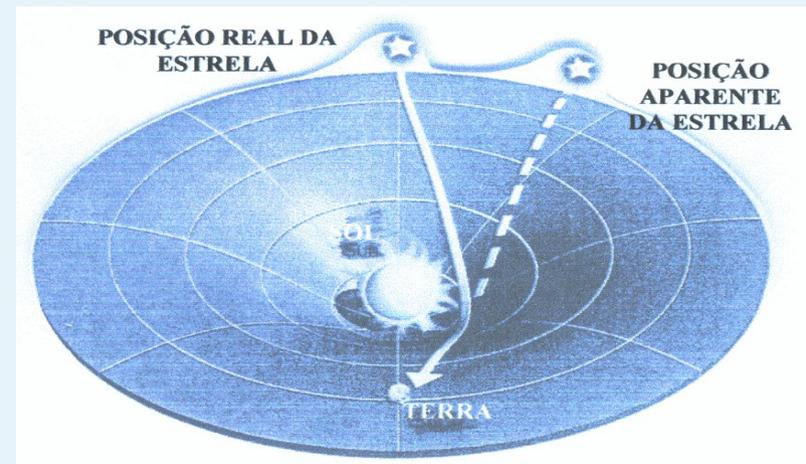
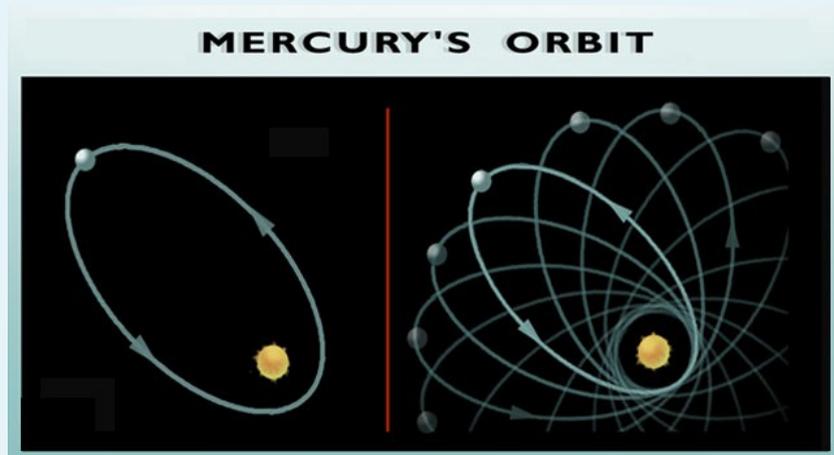
Ok! Mas o que são essas coisas?

Isso funciona?

No limite de campo fraco, g_{00} se reduz ao potencial gravitacional Newtoniano. Ou seja, a RG é uma generalização da gravidade de Newton.

A RG prevê com precisão espantosa:

- Desvio da luz.
- Precessão do periélio de Mercúrio.



Ondas gravitacionais.

Perturbando a métrica...

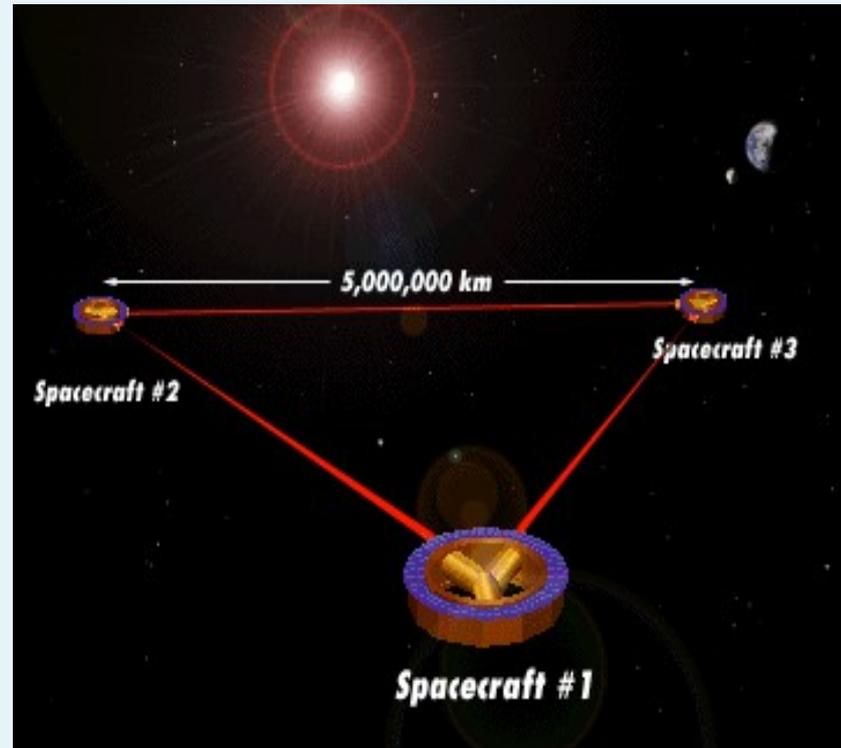
$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + \kappa h_{\mu\nu}$$

O campo h é uma flutuação do espaço-tempo, interpretado como uma onda gravitacional (gráviton).

Até hoje, não foi confirmada a existência de OG.

Existem projetos milionários na construção de laboratórios para a detecção de OG.

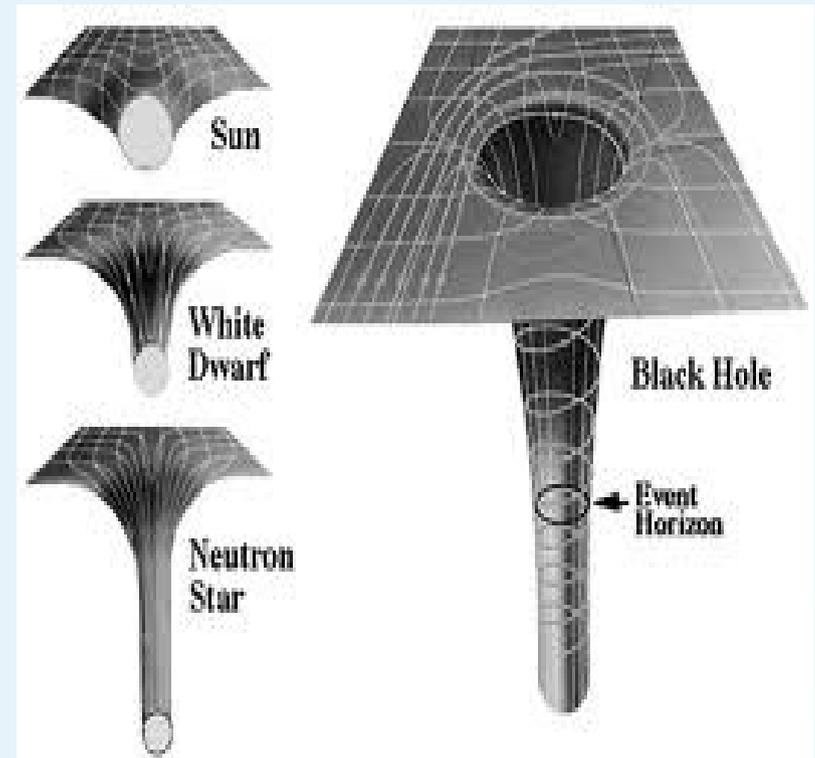
LIGO terrestre e LIGO espacial



Solução de Schwarzschild e buracos negros.

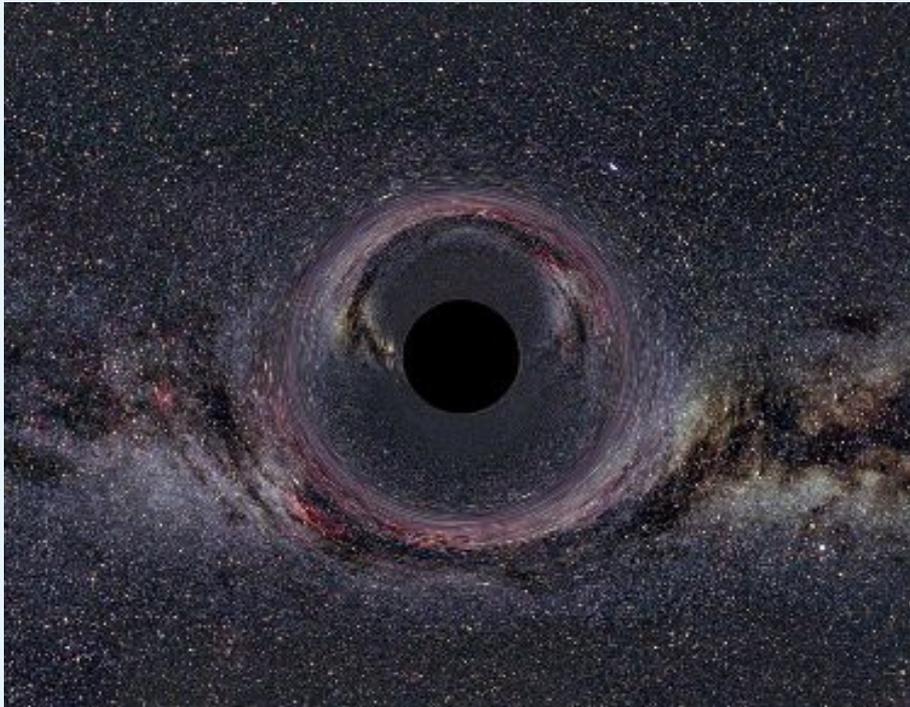
É a solução das equações de Einstein para distribuições esféricas e estáticas.

$$ds^2 = \frac{1}{1 - (2m/r)} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 - \left(1 - \frac{2m}{r}\right) dt^2 .$$



Efeitos do horizonte:

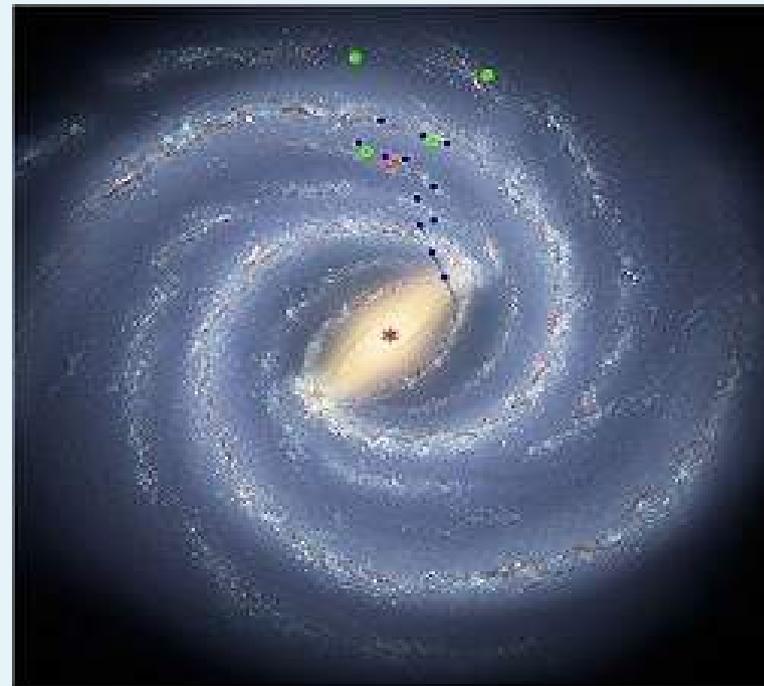
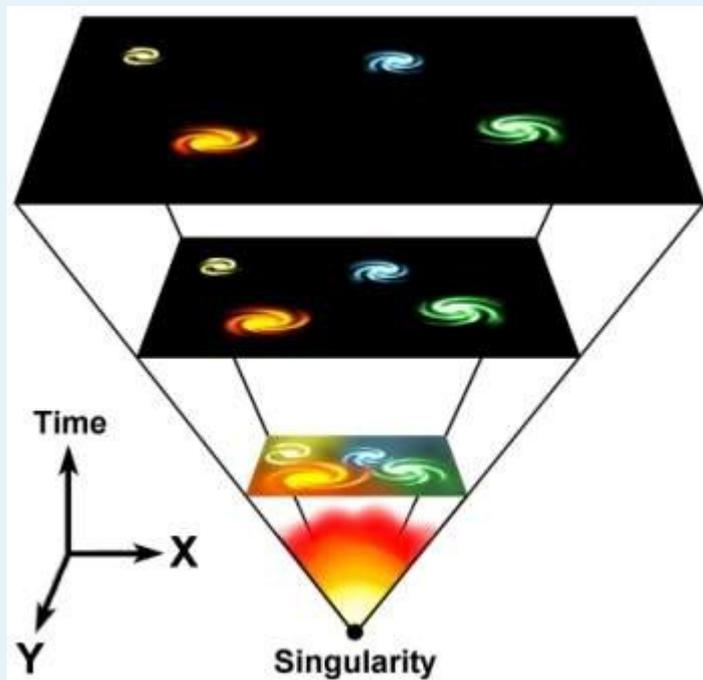
- Quanto mais próximo do horizonte, mais devagar passa o tempo.
- Nada escapa após cruzar o horizonte.
-



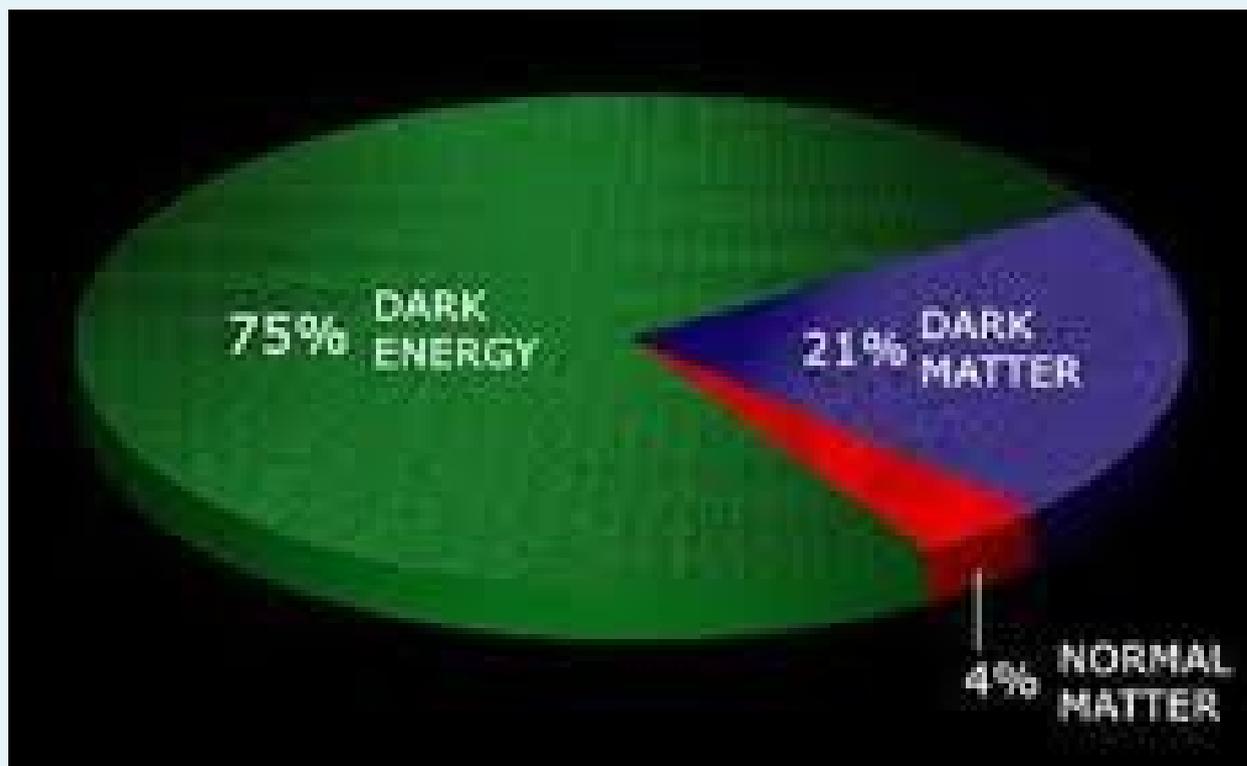
Limites de validade da teoria

A RG funciona perfeitamente dentro do sistema solar mas...

- Aceleração da expansão do Universo? Pouca matéria.
- Velocidade de rotação de galáxias? Muita matéria.



Energia e matéria escuras



Matéria e energia escuras são muito difíceis de se detectar pois só interagem (muito fracamente) com a gravidade e nenhuma outra força.



Talvez o mais fundamental dos problemas...

A RG não pode ser quantizada:

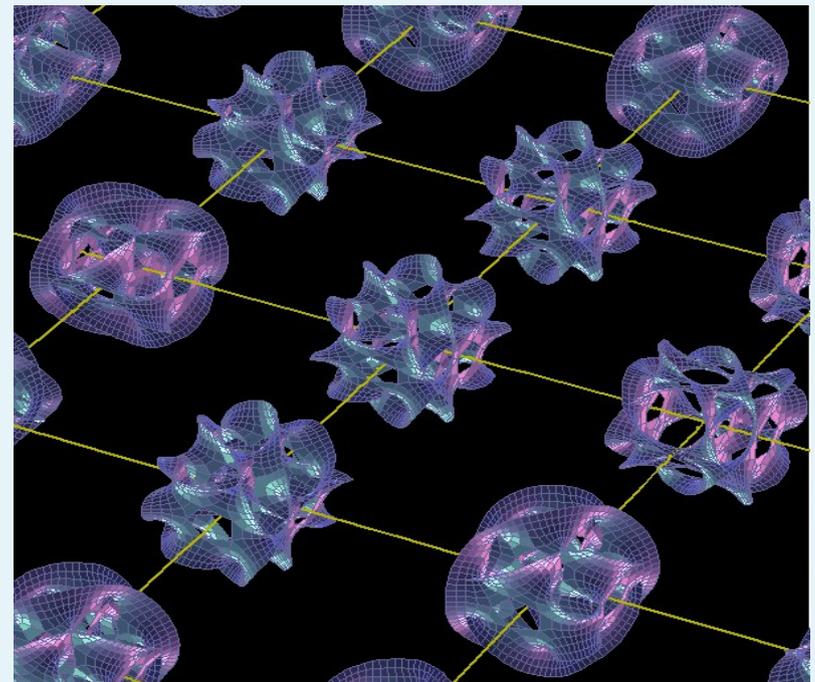
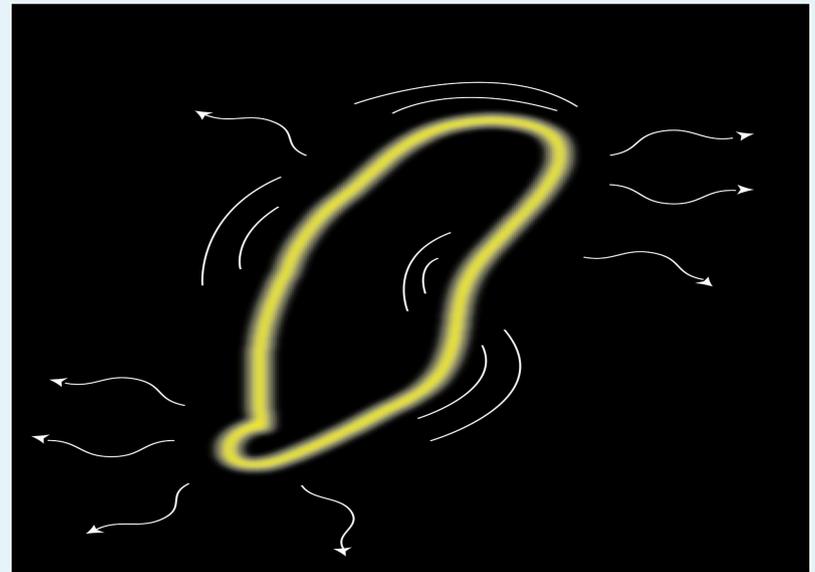
- Incompatibilidade entre os princípios da RG e da TQC.
- Mesmo com fundo fixo:
 - . Renormalizabilidade vs. Unitariedade.
 - . Equações de Einstein não poderiam ser fundamentais.

Surge então a necessidade de alterar a RG...



Teorias alternativas e teorias quânticas.

- Constante cosmológica.
- Teorias $f(R)$.
- Dimensões extras.
- Supergravidade (11d).
- Cordas (26d) e Supercordas (10d).
- LQG.
- Gravidade de Horava-Lifshitz.



THE
END