

Relembrando as interações fundamentais

- As interações fundamentais da Natureza atuam em diferentes objetos de acordo com suas “cargas”, cujo termo possui um significado mais amplo do que o da “carga elétrica”. Em analogia ao eletromagnetismo, podemos então dizer que:
 - A **massa** funciona como uma “carga” para a interação gravitacional → toda partícula que possua massa sofre a interação gravitacional;
 - Partículas carregadas eletricamente são sensíveis à interação eletromagnética;
 - A interação forte atua em partículas que possuem a chamada “carga de cor”, os quarks (→ Cromodinâmica)

Evidências das interações

- As interações Forte e Fraca possuem alcance muito curto → não apresentam evidências claras de sua existência no nosso cotidiano;
- As interações Gravitacional e Eletromagnética possuem alcance infinito → se manifestam a todo momento e de forma clara em nossa vida.

COMO?

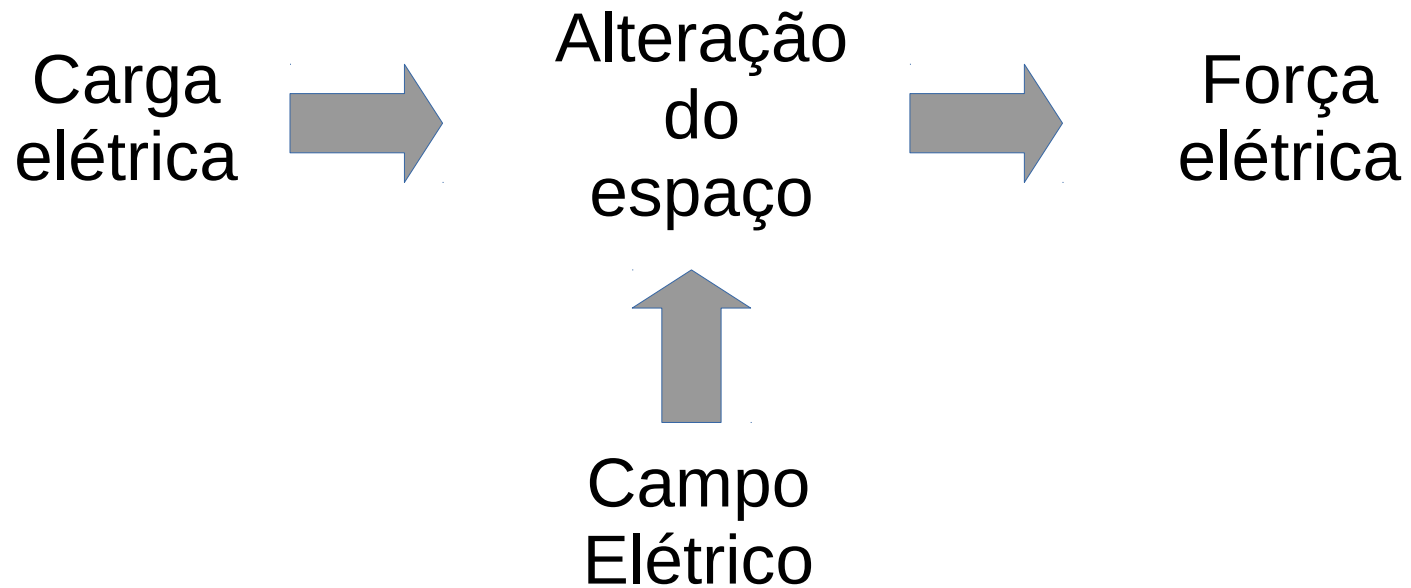
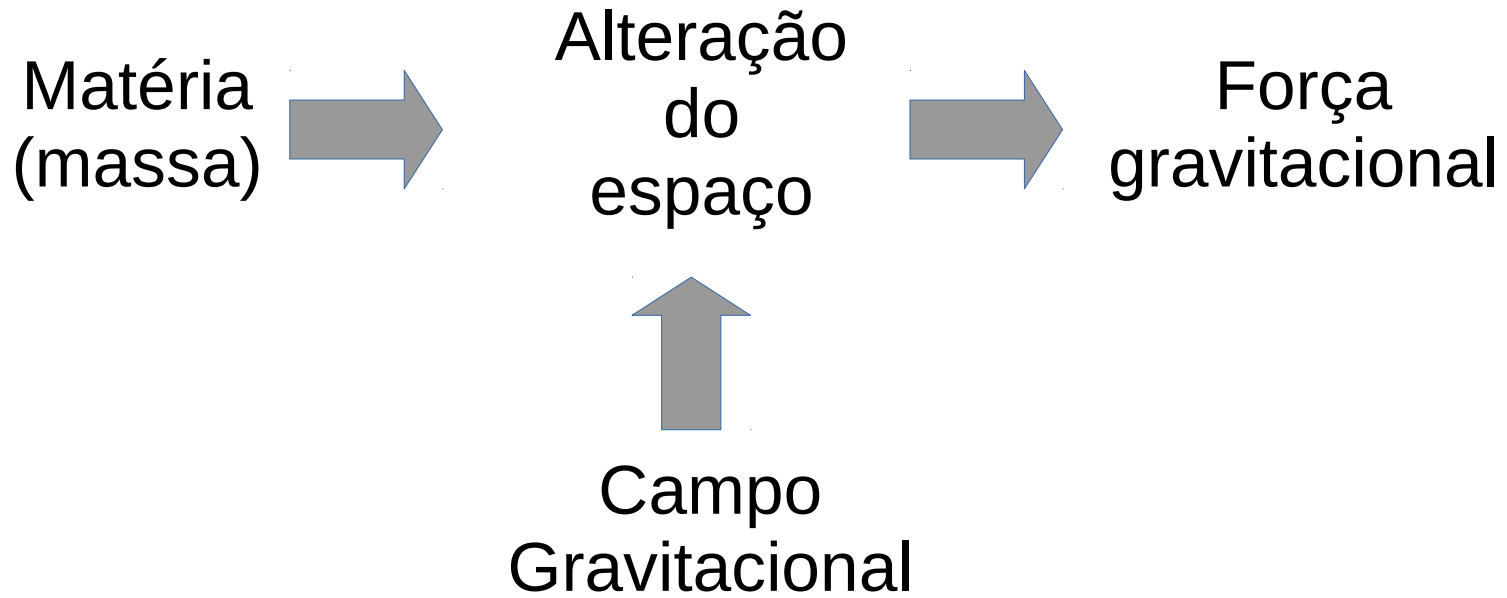
Como a interação acontece?

- Como um corpo sente a presença de outro quando:
 - uma folha, uma pedra, uma gota d'água cai ao chão;
 - a Lua se move ao redor da Terra, esta ao redor do Sol, este se move com relação à galáxia;
 - uma descarga elétrica ocorre, a agulha de uma bússola se move.
- O que é trocado?
- A interação ocorre à distância?
- A interação é instantânea?

Estas são perguntas que raramente fazemos a nós mesmos quando observamos esses fenômenos.

Os campos

- A presença de um corpo de um dado tipo de carga (elétrica, magnética, massa, etc) em uma região do espaço gera uma perturbação a qual chamamos de campo;
- um outro corpo de mesma classe interage com o corpo que gerou o campo inicial através do campo gerado;
- as interações se dão através desses campos, que no caso das interações de alcance infinito, permeiam todo o espaço;
- o segundo corpo, por sua vez, também gera o seu próprio campo, que irá interagir com o primeiro corpo. Isso leva diretamente à terceira Lei de Newton, o da ação e reação.



Regra geral

- O campo desempenha um papel intermediário nas forças entre os corpos, assim, ao invés de dizer que uma carga interage com uma outra a uma distância r , deve-se considerar que uma carga interage com o campo local ao qual está submetida, produzido por uma outra carga a uma distância r ;

- Os campos armazenam **energia potencial**, dada em qualquer ponto do espaço por:

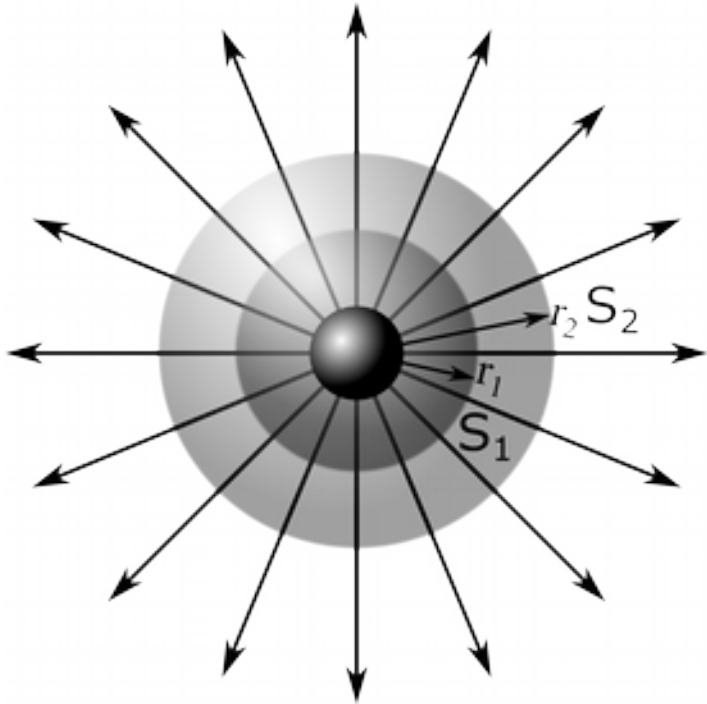
$$E = F/x (x = m, q)$$

- Em uma esfera concêntrica ao ponto gerador do campo, a densidade de energia por unidade de área é:

$$\rho_E = E_T / Area$$

- Como a superfície de uma esfera é proporcional a r^2 e a energia total deve ser conservada, a densidade de energia cai com r^2 , como a força é proporcional à energia no ponto em que a carga de prova se encontra, conseqüentemente a força em tais campos cai com r^2 ;

A regra do quadrado da distância



- A conservação de energia exige que:

$$\rho_1^E * S_1 = \rho_2^E * S_2$$

- A superfície da esfera é dada por:

$$S = 4\pi r^2$$

- Para que a igualdade seja verdadeira:

$$\rho^E \propto 1/r^2$$

- Como a força exercida em um corpo a uma distância r é proporcional à energia potencial nesse ponto:

$$F \propto 1/r^2$$

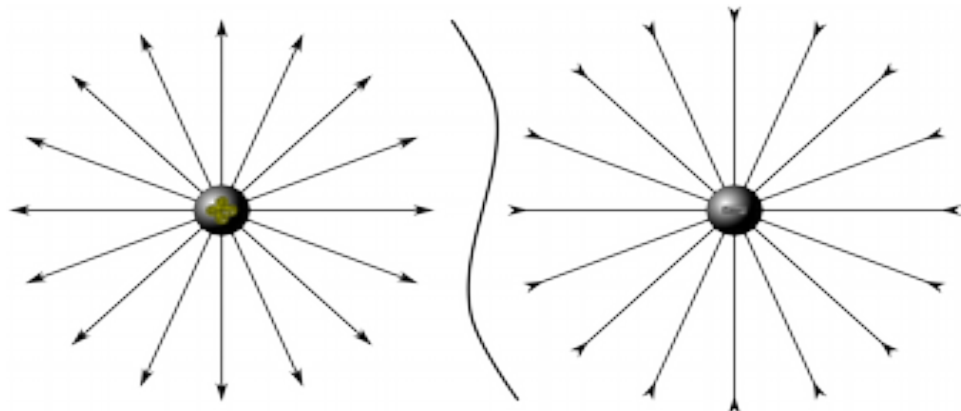
(a densidade de energia na superfície da esfera pode ser tomada como a energia em um ponto infinitesimal)

Algumas diferenças importantes

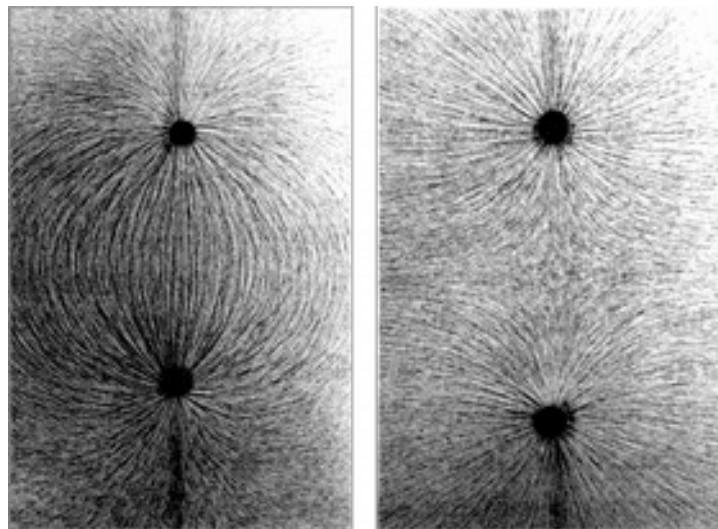
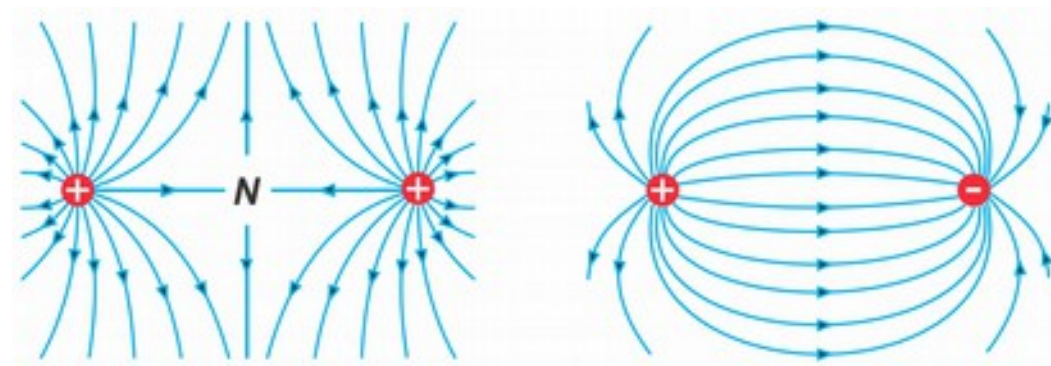
- Podemos entender tanto a interação eletromagnética quanto a gravitacional através dos campos, porém o campo gravitacional ainda não pode ser descrito pela mesma formulação matemática que o campo eletromagnético (assim como a interação fraca e forte).
- A interação eletromagnética (ou mesmo a fraca e forte) é atualmente descrita por uma teoria quântica de campo.
 - interação mediada pela troca de partículas “mensageiras”, chamados bósons (fóton, gluon, W^\pm , Z^0).
- A interação gravitacional é melhor descrita pela Teoria da Relatividade Geral de Einstein. A Física Teórica ainda não conseguiu chegar a uma formulação com base na teoria quântica de campos, cujo bóson seria o gráviton.

O Campo Elétrico

Cargas isoladas

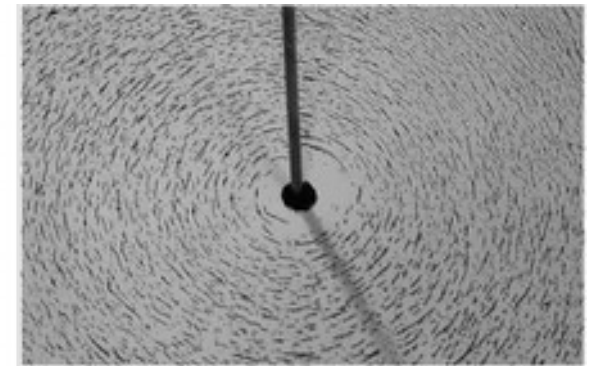
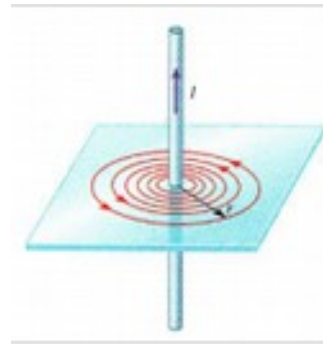
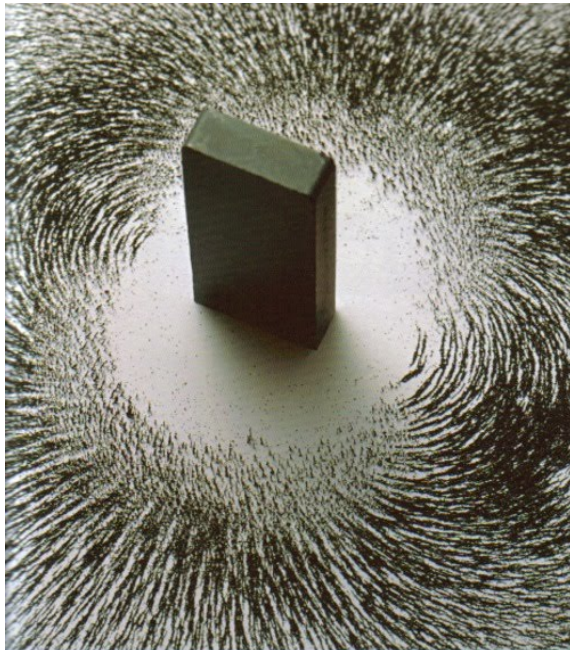
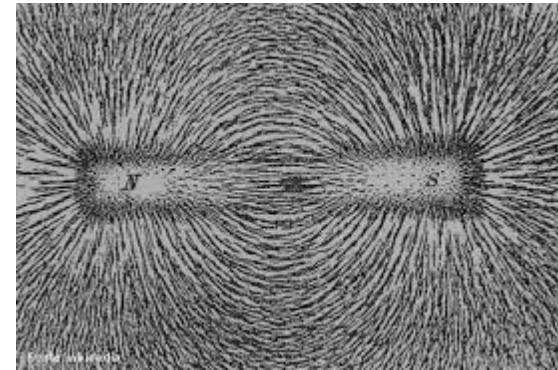
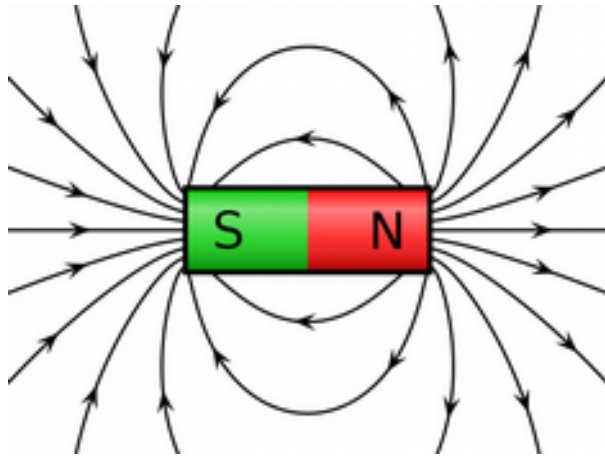


Um dipolo



O Campo Magnético

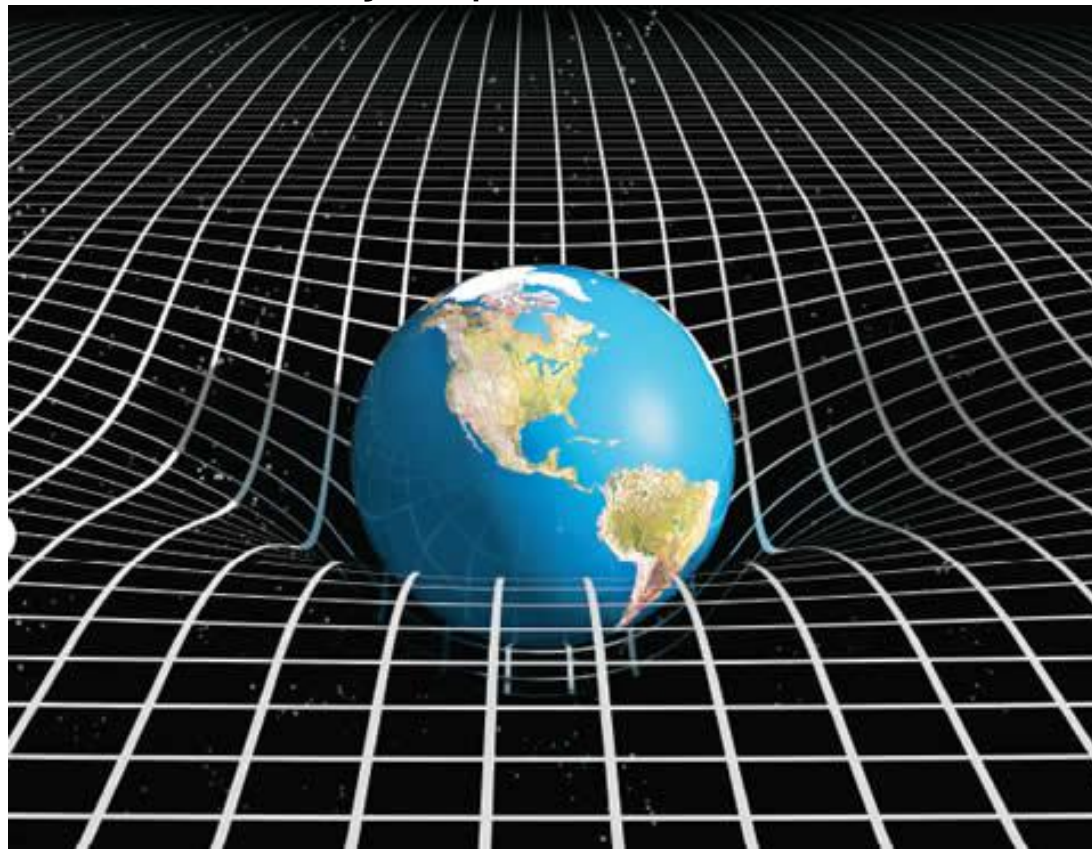
Cargas elétrica em movimento faz surgir um campo magnético!



- Nunca foi observado um monopolo magnético e sua existência seria incompatível com as teorias atuais.

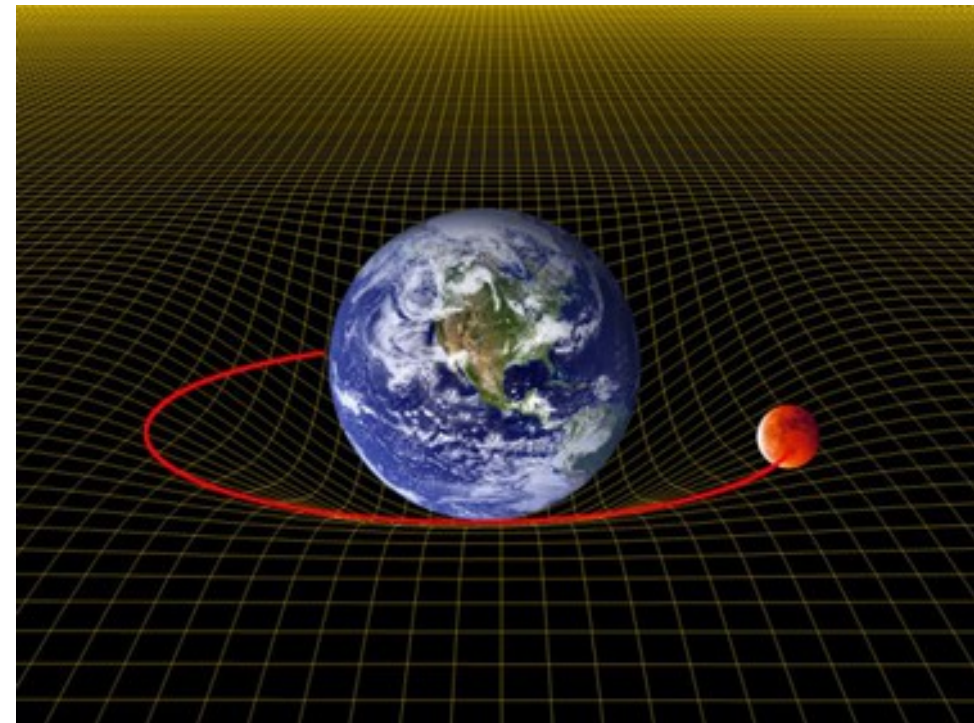
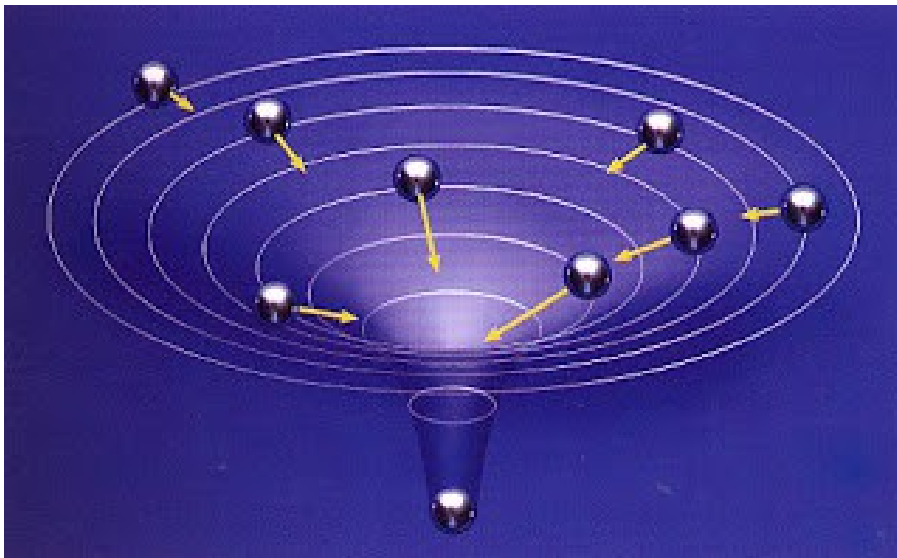
O Campo Gravitacional

- De acordo com a Teoria da Relatividade Geral de Einstein, o espaço não é “vazio”, mas forma, juntamente com o tempo, uma estrutura invisível, um sistema tetradimensional denominado espaço-tempo. O espaço também não é algo como um “pano de fundo” tridimensional no qual os corpos se movem: é uma estrutura cujas propriedades dependem da presença de matéria. Matéria e energia em movimento curvam o espaço-tempo. Essa deformação é muitas vezes comparada à que ocorre em uma rede esticada quando nela se deposita uma esfera maciça e pesada.



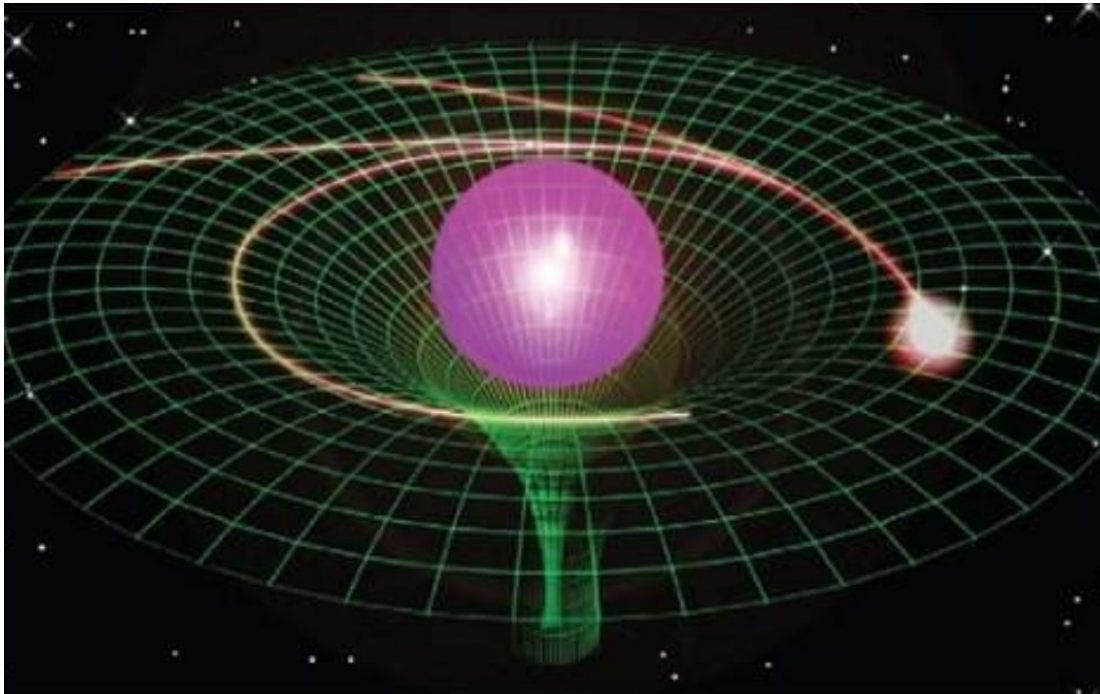
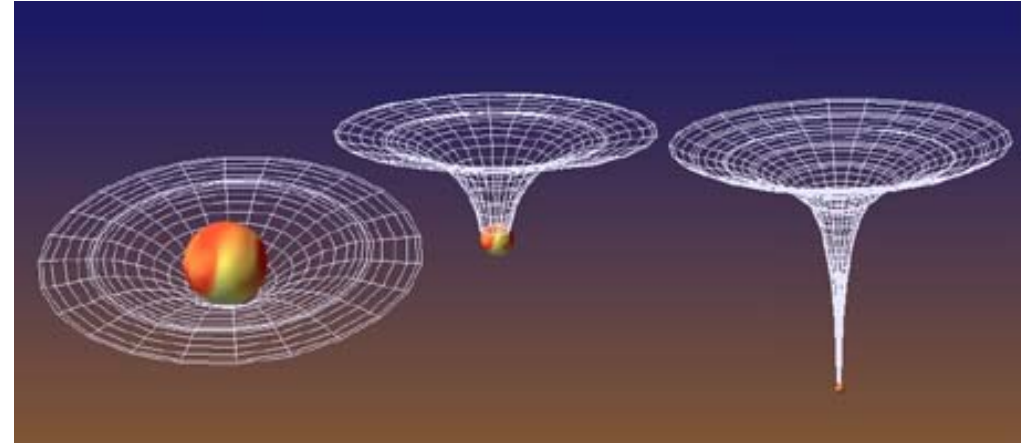
A força gravitacional

Assim, a força gravitacional não seria devida a uma atração de um corpo pelo outro com ação à distância, mas como resultado da curvatura do espaço. A Lua quando orbita ao redor da Terra, está simplesmente seguindo essa curvatura do espaço-tempo produzido pela Terra.



A deformação do espaço-tempo

- Quanto mais massivo é o objeto, maior é a deformação do espaço-tempo.
- Essa interpretação explica o fato de que a luz, que é formada por partículas sem massa, também sofre os efeitos gravitacionais.



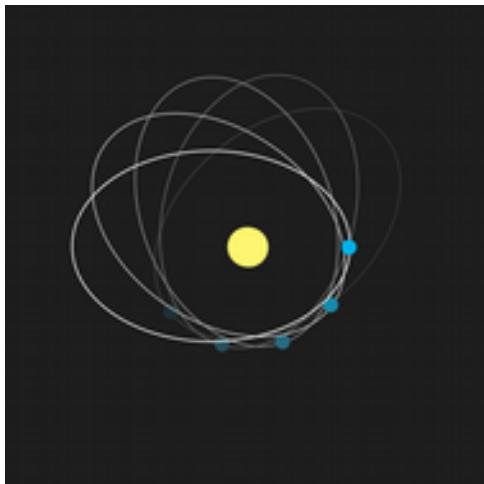
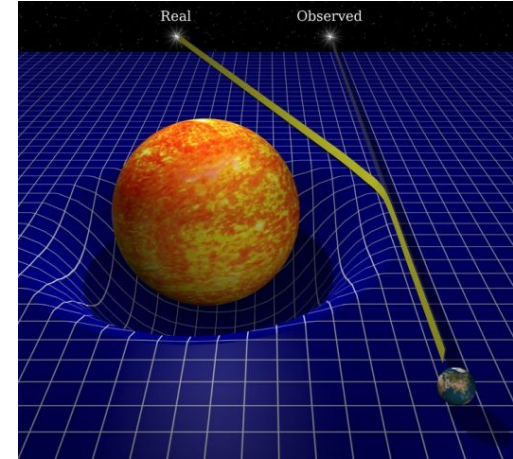
Marcos importantes

- Lentes Gravitacionais (Sobral, 29/05/1919)

Em um eclipse total do Sol, a lua fica entre o Sol e a Terra, projetando sua sombra em parte do planeta. Assim é possível ver o brilho das estrelas próximas.

Duas expedições uma em Sobral, Ceará e outra na Ilha do Príncipe, localizada na costa atlântica da África.

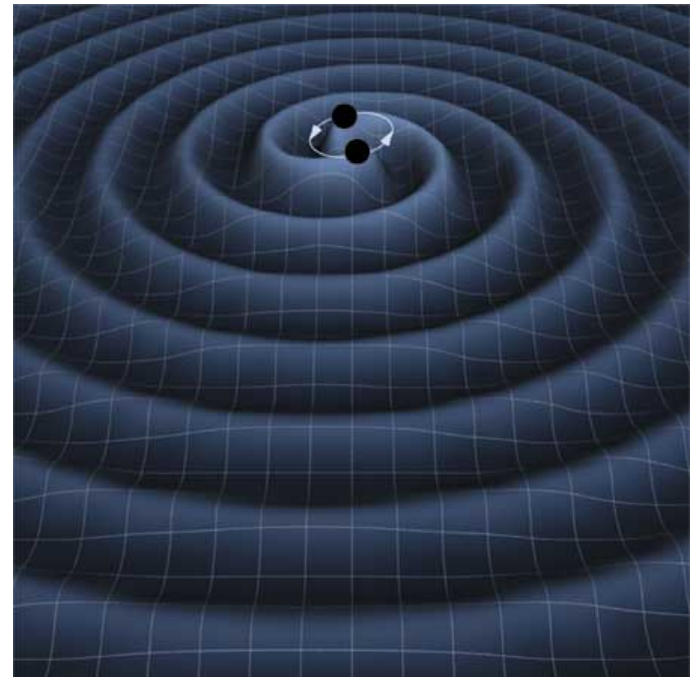
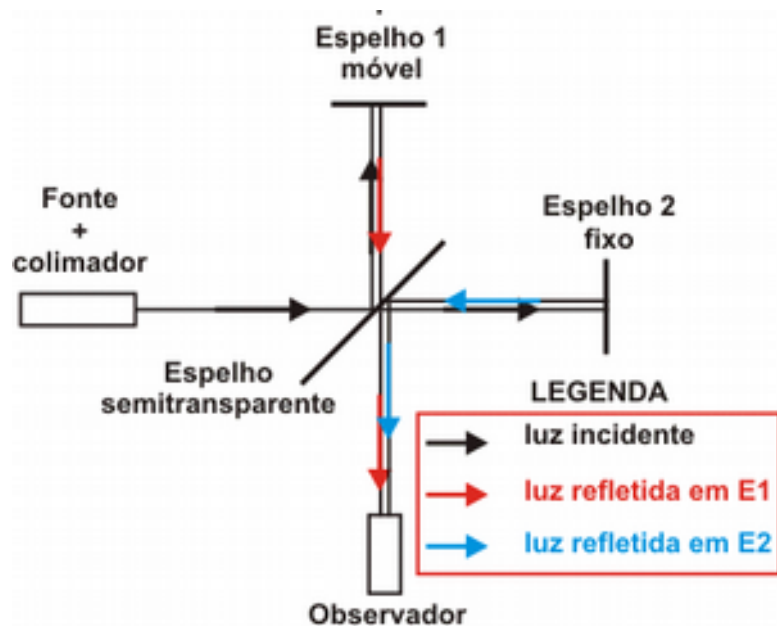
Eclipse de 1919, 6 min 51 s, fotografados raios luminosos de estrelas que passavam próximas do Sol.



- Precessão da órbita de Mercúrio (43"/séc. a mais do que os 540" previstos por Newton)

Ondas gravitacionais – comprovação experimental

As ondas gravitacionais foram detectadas em 14 de setembro de 2015, às 9:51 UTC) pela Colaboração LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory): 2 buracos negros de 29 e 36 massas solares se fundiram, formando um outro com 62 massas solares e 3 massas solares foram convertidas em ondas gravitacionais (a cerca de 1,3 bilhão de anos-luz).



O LIGO é composto por dois detectores que trabalham em conjunto, sendo um instalado em Hanford (Washington) e o outro em Livingston (Louisiana).

Cada braço do detector tem 4 km de comprimento e os detectores estão separados por 3002 km de comprimento, garantindo assim que perturbações que não representam a presença de ondas gravitacionais possam ser identificadas e removidas dos resultados.

Um interferômetro é um instrumento de medida baseado no fenômeno de interferência que ocorre quando duas ou mais ondas interagem superpondo-se em um ponto. O resultado observado depende da diferença de fase entre as ondas. A interferência pode ser construtiva, quando a amplitude da onda resultante é diferente de zero ou destrutiva em caso contrário.

Medida realizada pelo LIGO

A passagem de uma onda gravitacional, resulta na dilatação do espaço em uma direção e redução na direção perpendicular. Assim, a distância entre um par de espelhos fica menor, enquanto que o outro fica maior. Ocorre portanto uma oscilação dos espelhos como resultado da dilatação do espaço-tempo e esta oscilação é medida pelo detectores do LIGO.

Campos → forças

- Conclusão:

- Campos são distorções causadas em torno de um corpo devido à presença de uma “carga” (massa, elétrica, cor). Esses campos podem ser interpretados de duas maneiras:
 - Uma distorção no “tecido” do espaço no caso da interpretação de Einstein na Relatividade Geral (apenas para a Gravitação);
 - uma “nuvem de bósons virtuais” no caso da interpretação da Teoria Quântica de Campos;
- Em ambas as interpretações sobre a estrutura dos campos, a sua presença faz surgir uma força que atua nos corpos neles imersos.
- Todos os fenômenos que presenciamos são resultados da atuação dos campos, seja o gravitacional, o eletromagnético e ainda, o campo da interação forte que se manifestam através das forças que regem o Universo. A interação Fraca, como já dito anteriormente, é pouco presente em nossa vida, sendo observado apenas nos decaimentos radioativos.

Bibliografia

- Frank Close, Particle Physics A Very Short Introduction, Oxford University Press, 2012.
- <https://www.ligo.caltech.edu/>
- Marques, Gil da Costa, Do que tudo é feito? EdUsp, 2010.