

Física III (IFUSP 2023)

Prof. José Roberto Brandão de Oliveira

(zero@if.usp.br)

jooliveira@usp.br

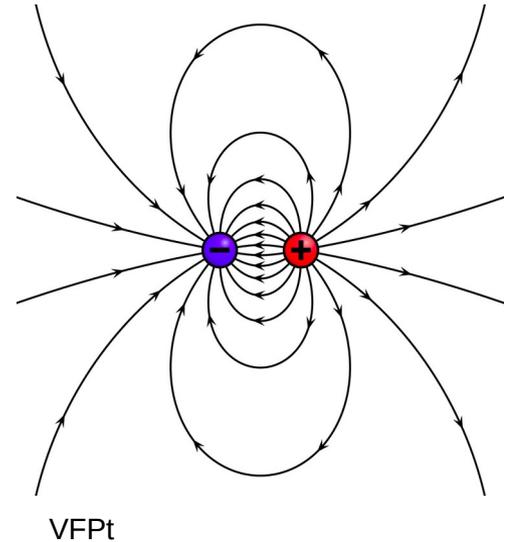
Hoje:

- Apresentação da disciplina
- Sobre mim (atividades de pesquisa)
- Aprendizagem ativa
- Aula 1

Apresentação da disciplina

Moodle (<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=106247>):

- Apresentação
Teoria clássica do eletromagnetismo
40 aulas, 4 provas (peso 80%), 4 listas (peso 20%)
Presença ($\geq 70\%$)
- Apostila de Física 3 (40 capítulos)
- Programação de aulas (40)
- Enquetes e listas (4)
- Material complementar



Prof. José Roberto Brandão de Oliveira

IFUSP/DFN

Área de pesquisa:

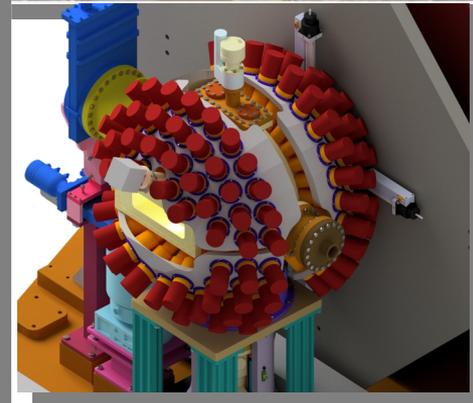
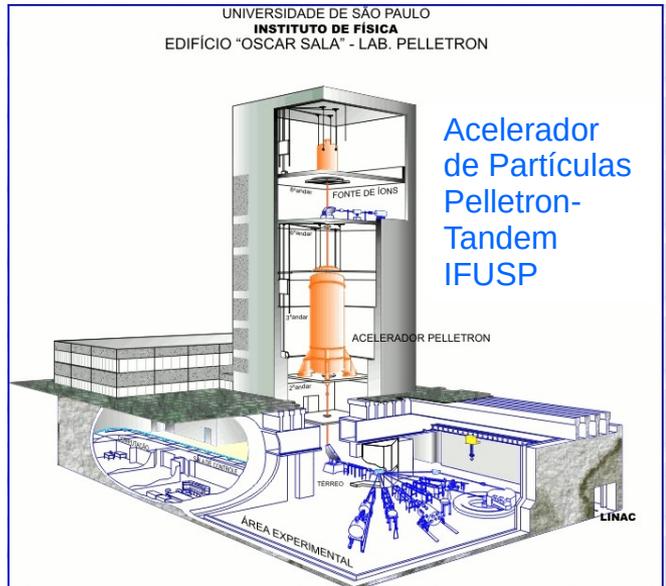
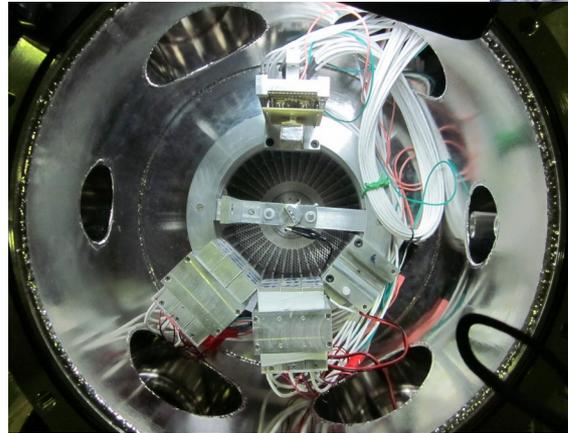
- Estrutura e reações nucleares (FN de baixa energia)
- Espectroscopia gama/Instrumentação

Colaborações internacionais (NUMEN/LNS – DTC/v, ...)

Espectrômetro gama - “Saci-Perere”



“Nossa Caixa”
Câmara de espalhamento no
Acelerador Pelletron/LINAC



G-NUMEN
LNS
INFN
Itália

Aprendizagem ativa

CONE DE APRENDIZAGEM



Obs.: Não levar estas porcentagens muito a sério...

Aulas na antiguidade e hoje



Aula na Universidade de
Bolonha, século XIV

Aulas na antiguidade e hoje



Aula na Universidade de Bolonha, século XIV



Aula à distância, Sec. XXI
Muitos alunos dormem

Elementos de Aprendizagem Ativa

- 1) Textos já estão escritos e disponíveis em forma digital – Ler capítulos específicos da apostila antes da aula (aula “invertida”).
- 2) Aula conterà exposições sucintas da matéria, eventualmente com avaliações rápidas em tempo real, e alguns exemplos de resolução de exercícios
- 3) Alguns exercícios propostos serão na realidade problemas resolvidos na apostila ou livros, e que devem ser tentados a partir dos princípios e técnicas apresentados nas aulas e textos preferencialmente ANTES de verificar a solução nos textos.
- 4) Parte das aulas poderá servir para discussão e resolução de dúvidas relativas aos exercícios ou à matéria em geral, e exercícios adicionais.
- 5) Alunos são incentivados a interagir entre si e com o professor durante as aulas e fora das aulas, para se ajudarem mutuamente:
 - i. Alunos também são professores
 - ii. Explicar ajuda a aprender

Física III (IF 2023)

Aula 1

Objetivos de aprendizagem:

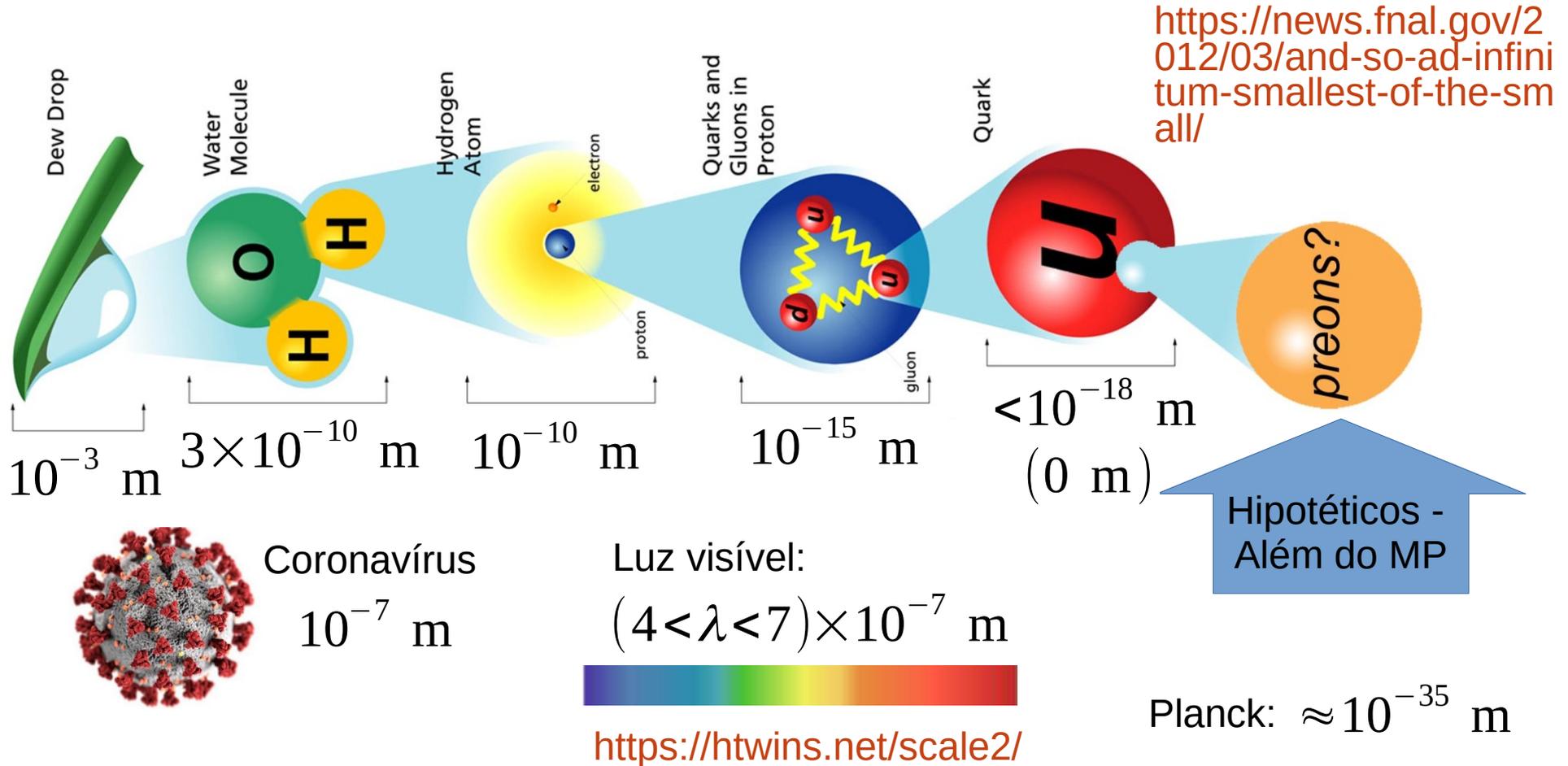
(após a aula você deverá ser capaz de:)

- Listar em linhas gerais quais são as partículas elementares segundo o “Modelo Padrão”.
- Listar alguns sucessos do MP.
- Listar algumas limitações do MP.
- Listar as principais propriedades das partículas elementares.
- Enunciar em linhas gerais qual é o escopo do eletromagnetismo “clássico”.
- Identificar as limitações da teoria do eletromagnetismo clássico.
- Reconhecer algumas representações do campo elétrico

Sumário (aula 1)

- A física hoje
 - Modelo padrão – Matéria e interações
 - Relatividade – Espaço-tempo
 - Quântica – Função de onda (amplitude e fase)
- Limitações atuais
 - Matéria e energia escura – ??
 - Massa dos neutrinos – Dirac/Majorana...
- Eletromagnetismo

Escalas de dimensões

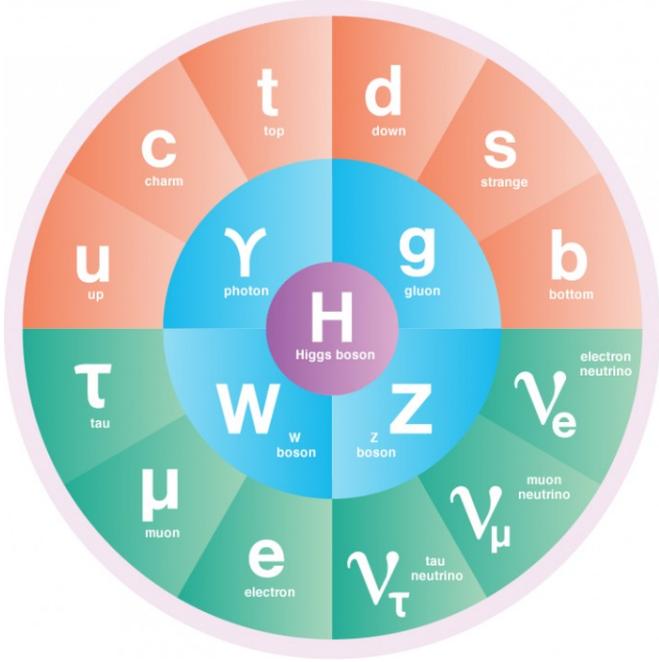


Modelo Padrão das partículas elementares



Férmions

Bósons

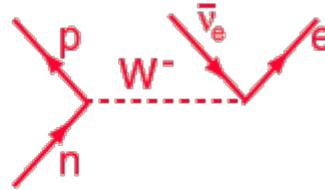


... + antipartículas
e⁺, ν̄_e, ū, ...

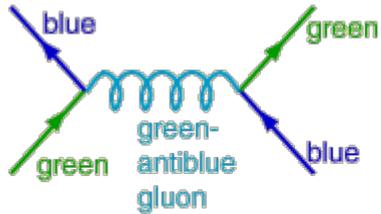
Interações (MP)



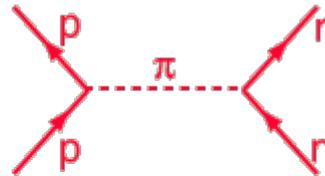
Electromagnetic



Weak



between quarks



between nucleons

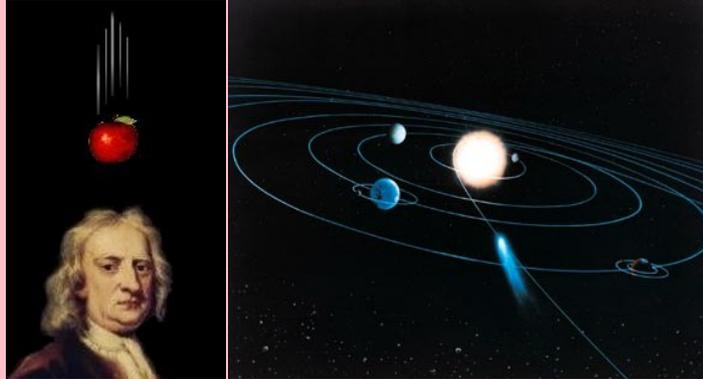
Strong Interaction

Cargas $e(+,-)$, RGB, w
Acoplamentos

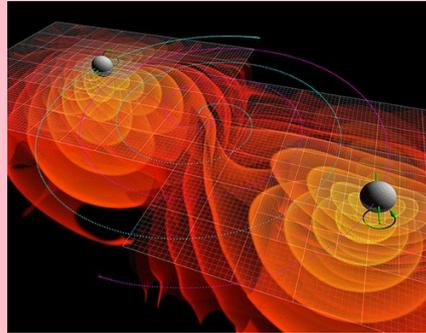
As 4 interações fundamentais

- **Gravitacional**
(fora do MP)

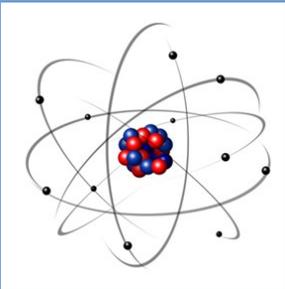
Gráviton ?



Ondas gravitacionais →

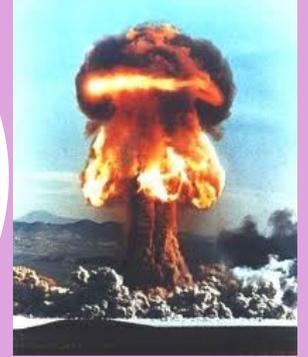
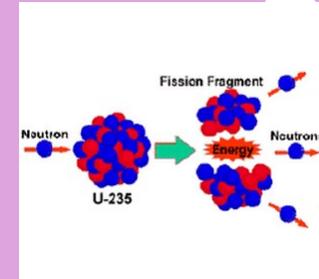


- **Eletromagnética**

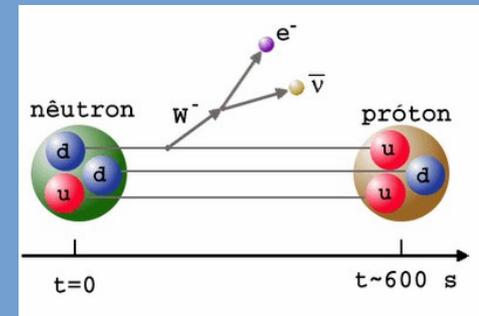


← Eletrofraca →

- **Forte ou Nuclear**



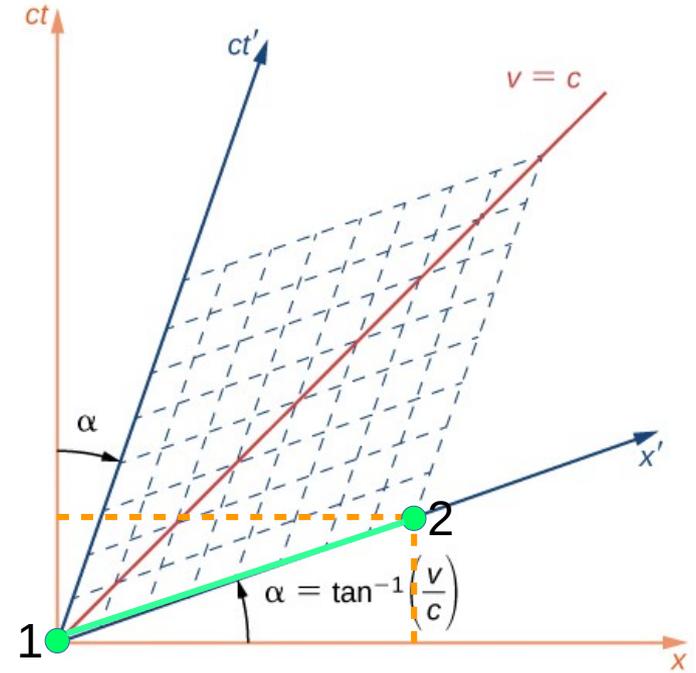
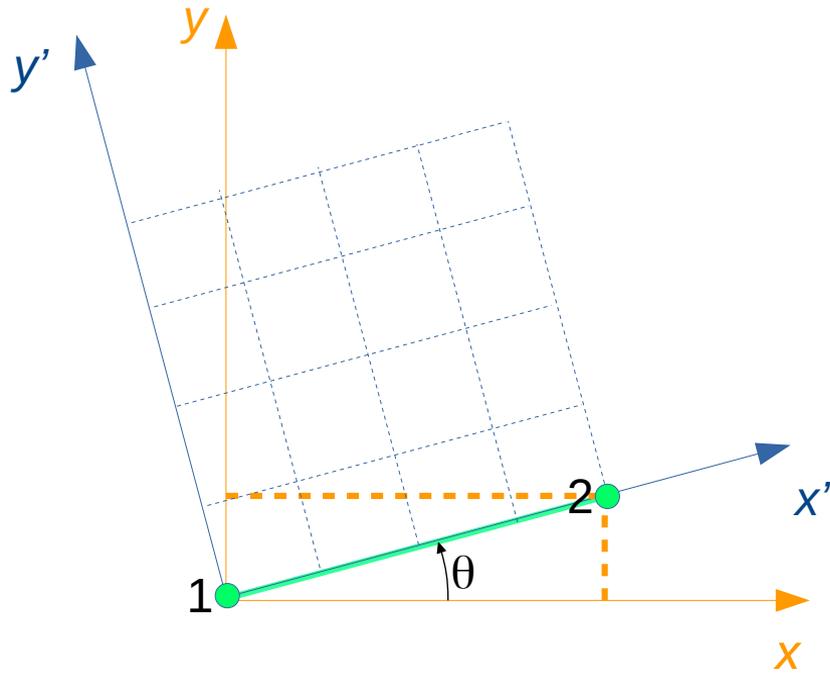
- **Fraca**



Relatividade

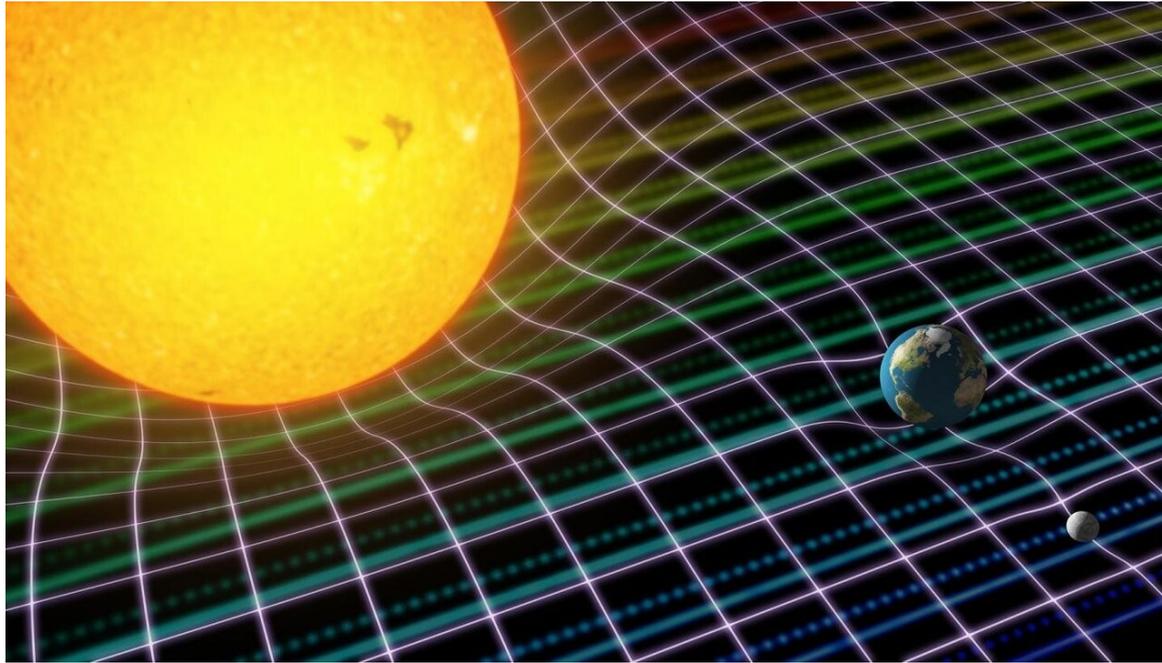
- **Newton:** espaço euclidiano e tempo “absolutos”
mas..., **leis físicas são as mesmas em todos os referenciais**
(inerciais)
 - Transformações de Galileu ~1615
- **Einstein:** espaço-tempo de 4 dimensões
 - Relatividade restrita (1905) – Transformações de Lorentz
- ... e **leis físicas são as mesmas em todos os referenciais**
(inerciais)
 - Relatividade Geral (1915) – referenciais acelerados e gravitação
 - Espaço deformado pela matéria/energia

Analogia Rotação \times Tr. Lorentz

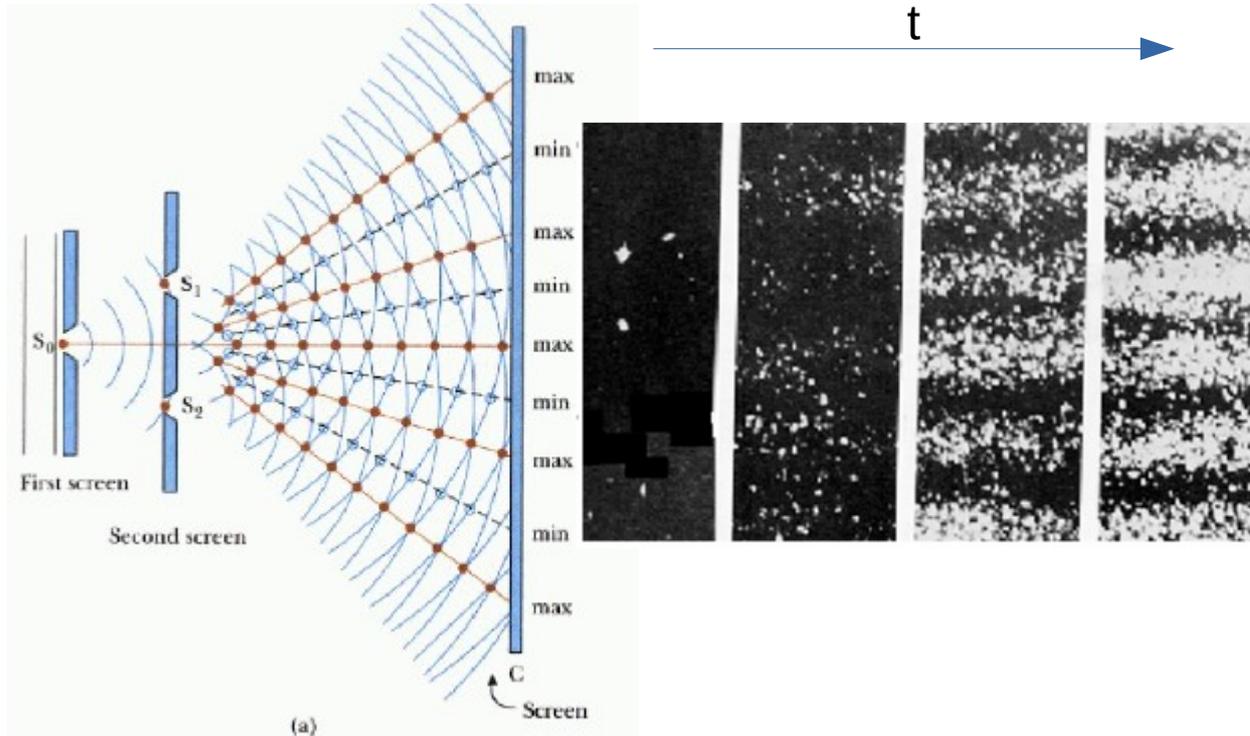


Relatividade Geral

- Deformação do espaço-tempo (1915)



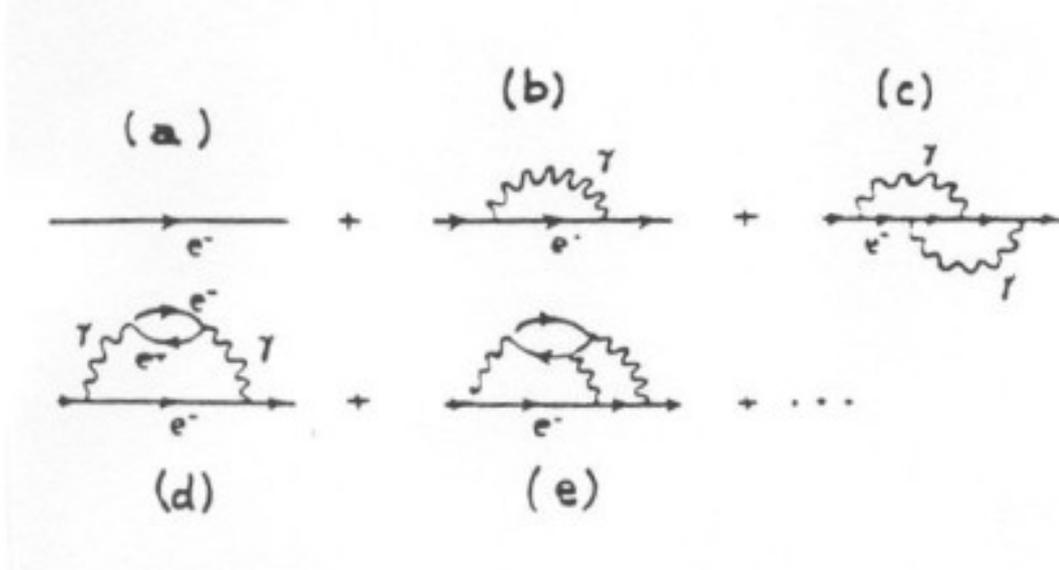
Mecânica Quântica



- Dualidade onda-partícula
- Função de onda
- Amplitude e fase
- Princípio da incerteza
- Probabilidade
- $\psi^* \psi$

Eletrodinâmica quântica

- Elétron e seu campo eletromagnético



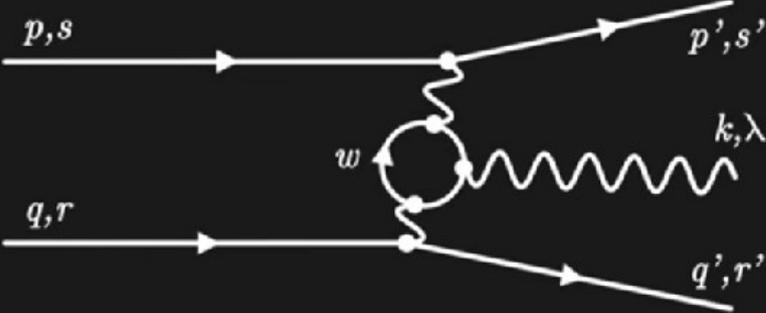
Fator giromagnético do elétron
Mom. Magn./Mom. Angular
 $g \sim 2$ (Dirac)

$$g/2 = 1.001\,159\,652\,180\,73\,(28) \quad [0.28 \text{ ppt}] \text{ (measured)}$$
$$g(\alpha)/2 = 1.001\,159\,652\,177\,60\,(520) \quad [5.2 \text{ ppt}] \text{ (predicted).}$$



Diagrama de Feynman

- Expressão matemática



The diagram shows two incoming fermion lines on the left, labeled with momenta and spins p, s and q, r . These lines meet at a vertex where a fermion loop is formed. The loop consists of two fermion lines with momenta w and $w-k$. A photon line with momentum k and polarization λ is emitted from the loop and interacts with the second vertex. From this second vertex, two outgoing fermion lines emerge, labeled with momenta and spins p', s' and q', r' .

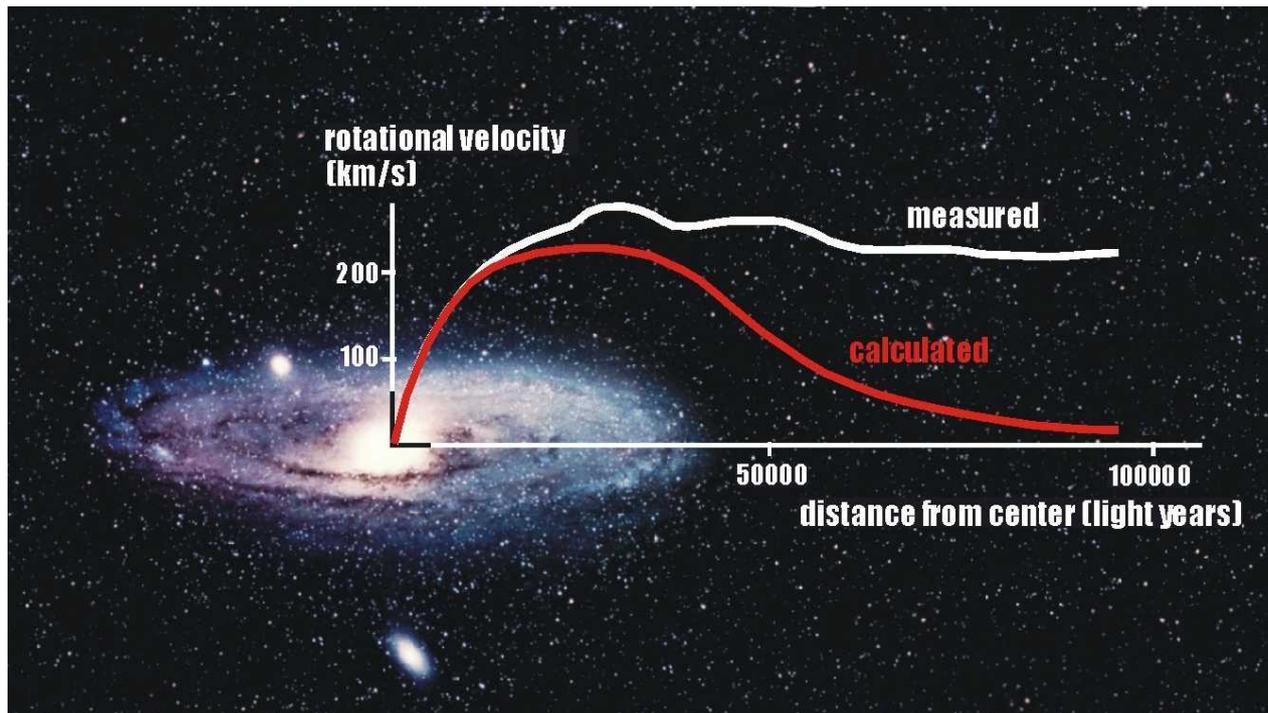
$$- [\bar{u}^{s'}(p')(-ie\gamma^\mu)u^s(p)] \left(\frac{-i}{(p-p')^2} \right)$$

$$\int \frac{d^4 w}{(2\pi)^4} \text{Tr} \left[(-ie\gamma_\mu) \left(\frac{i(w+m)}{w^2-m^2} \right) (-ie\gamma_\nu) \left(\frac{i(p-p'+w-k+m)}{(p-p'+w-k)^2-m^2} \right) (-ie\epsilon^\lambda(k)) \left(\frac{i(p-p'+w+m)}{(p-p'+w)^2-m^2} \right) \right]$$

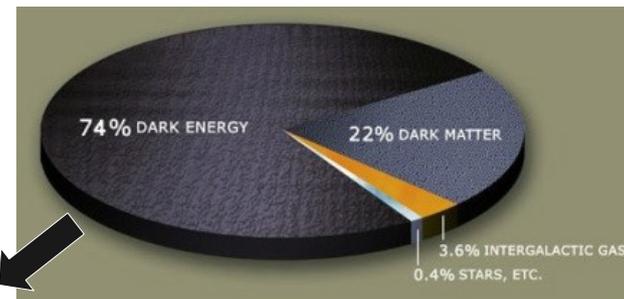
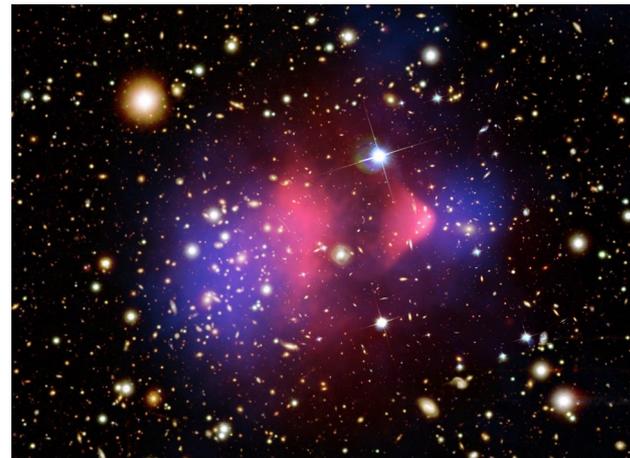
$$\left(\frac{-i}{(p-p'-k)^2} \right) [\bar{u}^{r'}(q')(-ie\gamma^\nu)u^r(q)]$$

- QED
- QCD

Limitações do MP: Matéria escura



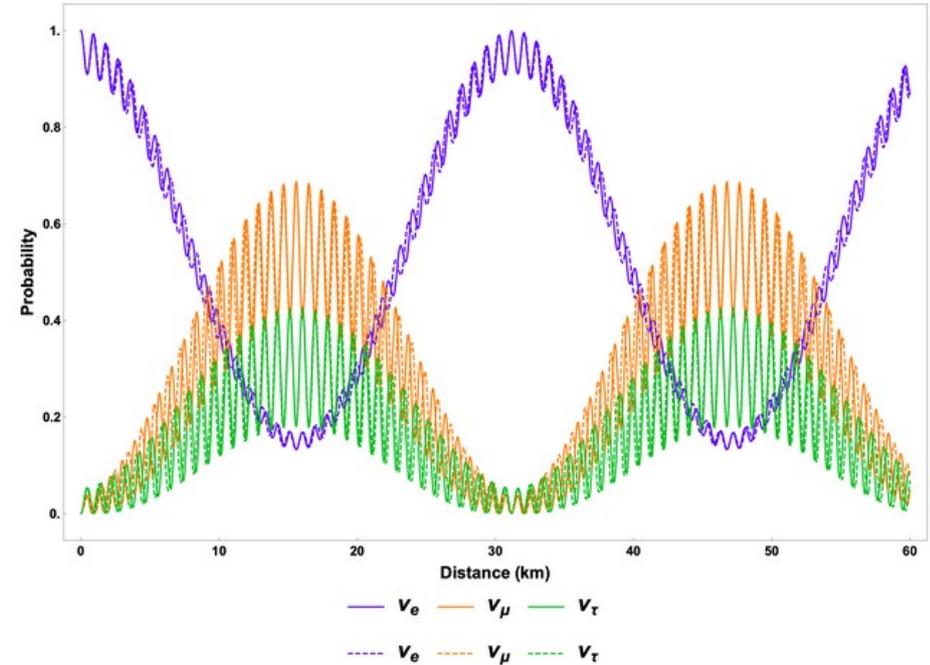
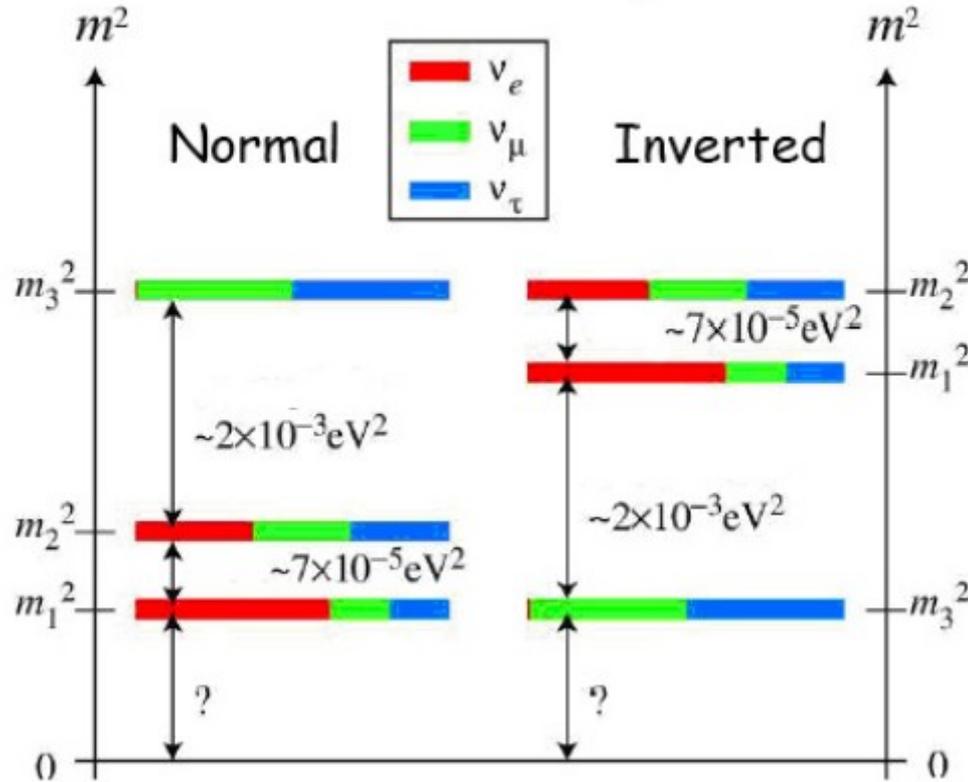
Bullet Cluster

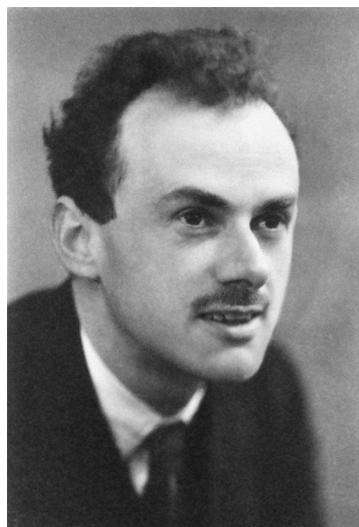


Expansão acelerada



Limitações do MP: Neutrinos





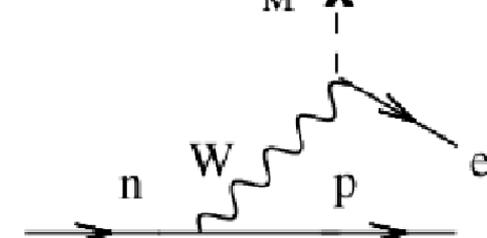
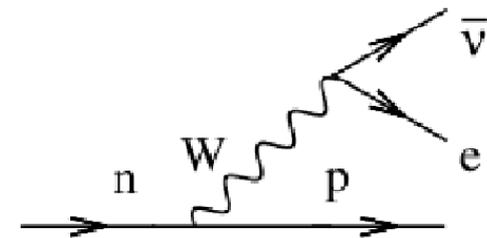
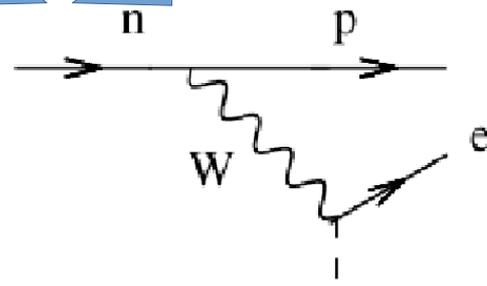
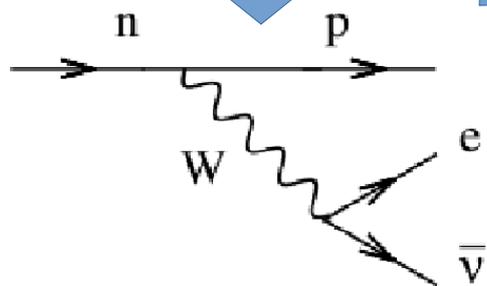
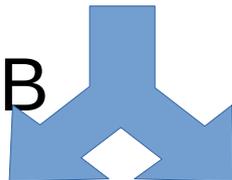
Dirac x Majorana



$$\nu \neq \bar{\nu} \quad \nu = \bar{\nu}$$



DDB



Raro, mas observado

Ainda não observado
Muitos experimentos tentam comprovar sua existência

$$t_{1/2}^{2\nu} = 0.01 - 10 \times 10^{21} \text{ anos}$$

$$t_{1/2}^{0\nu} = 1 - 10 \times 10^{27} \text{ anos}$$

• Ontologia da física Newtoniana

- Espaço (homogêneo e isotrópico)
 - Tempo (uniforme)
 - Partículas materiais (massa)
 - Força (interações)
 - Gravitacional
 - “Outras”... (elástica, elétrica, magnética, contato...)
 - Leis (4)
-
- Palco
- Atores
- Diretor

Física clássica (antes de 1905)

universo físico clássico			
palco:	momentos linear e angular ↑ espaço	energia ↑ tempo	 simetrias
diretor:	leis dinâmicas de Newton:	inércia, ação e reação	aceleração proporcional a força,
atores:	massa carga	↔ ↔	campo gravitacional campo eletromagnético

Eletromagnetismo “clássico”

- Equações de Maxwell (4 leis relacionando cargas e campos E e B) → ondas E.M. (vel. c)
- Força de Lorentz (Conexão com a mecânica)

Obs.:

- Consistentes com a Relatividade Restrita (sem “éter”)
- “Clássico” aqui se opõe a “quântico” (QED).
- Vamos usar 1 referencial sem comparar com outro (não precisaremos usar as transformações de Lorentz explicitamente), a não ser para discussões qualitativas

Equações de Maxwell

equações de Maxwell			
nome	conceito	forma integral	forma diferencial
Gauss elétrica	$q \rightarrow \vec{E}$	$\oint \oint_S \mathbf{E} \cdot \vec{n} dS = \int \int \int_V \frac{\rho}{\epsilon_0} dV$	$\nabla \cdot \mathbf{E} = \rho/\epsilon_0$
Faraday	$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \leftrightarrow \mathbf{E}$	$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot \vec{n} dS$	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
Ampère Maxwell	$I \leftrightarrow \vec{B}$ $\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \leftrightarrow \mathbf{B}$	$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \iint_S \left[\mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right] \vec{n} dS$	$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$
Gauss magnética	$\nexists q_{MAG}$	$\oiint_S \mathbf{B} \cdot \hat{\mathbf{n}} dS = 0$	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$

Table 18–1 Classical Physics

The Feynman Lectures on Physics

<https://www.feynmanlectures.caltech.edu>

Maxwell's equations

$$\text{I. } \nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

(Flux of \mathbf{E} through a closed surface) = (Charge inside)/ ϵ_0

$$\text{II. } \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

(Line integral of \mathbf{E} round a loop) = $-\frac{d}{dt}$ (Flux of \mathbf{B} through the loop)

$$\text{III. } \nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

(Flux of \mathbf{B} through a closed surface) = 0

$$\text{IV. } c^2 \nabla \times \mathbf{B} = \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

c^2 (Integral of \mathbf{B} around a loop) = (Current through the loop)/ ϵ_0
+ $\frac{d}{dt}$ (Flux of \mathbf{E} through the loop)

Conservation of charge

$$\nabla \cdot \mathbf{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

(Flux of current through a closed surface) = $-\frac{d}{dt}$ (Charge inside)

Force law

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

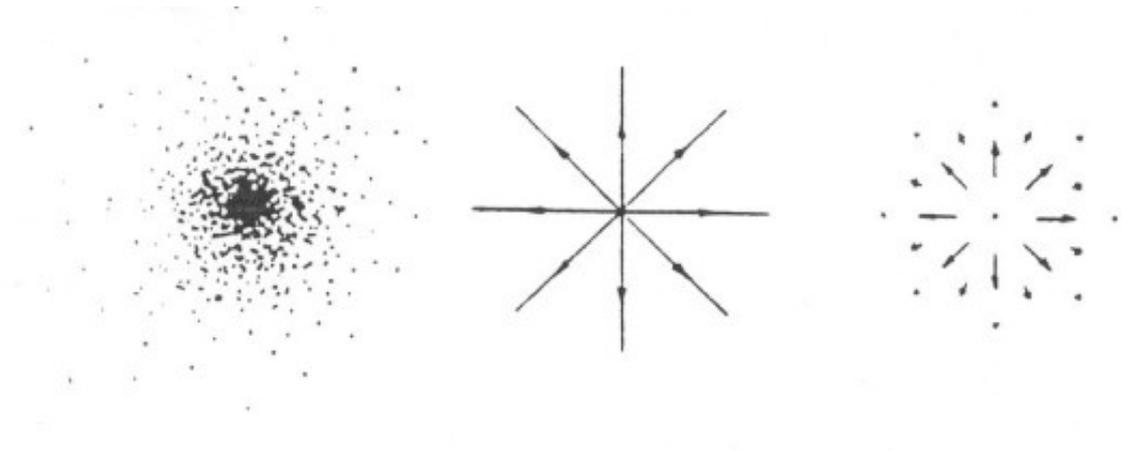
Law of motion

$$\frac{d}{dt}(\mathbf{p}) = \mathbf{F}, \text{ where } \mathbf{p} = \frac{m\mathbf{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (\text{Newton's law, with Einstein's modification})$$

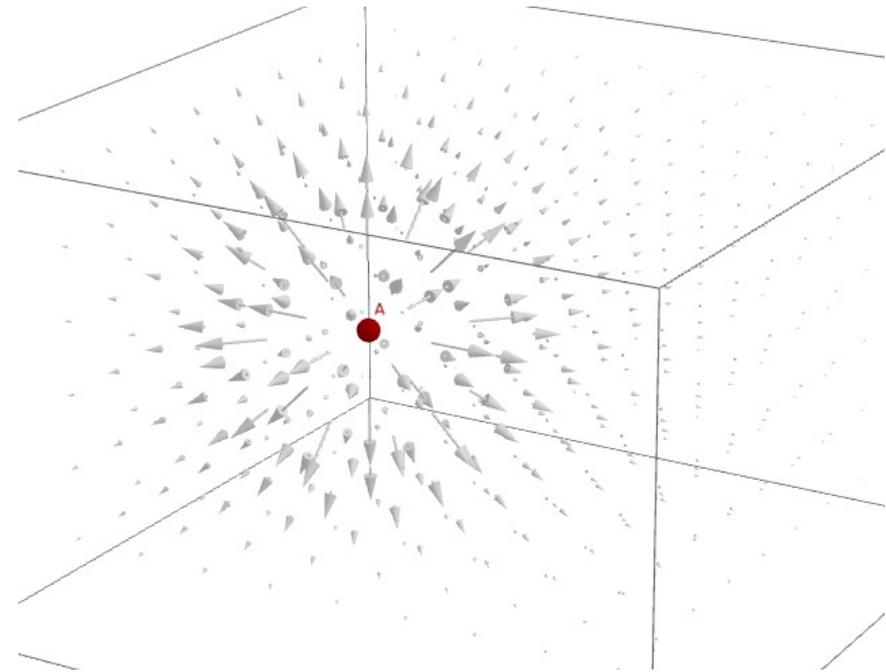
Gravitation

$$\mathbf{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \mathbf{e}_r$$

Campo elétrico - representações



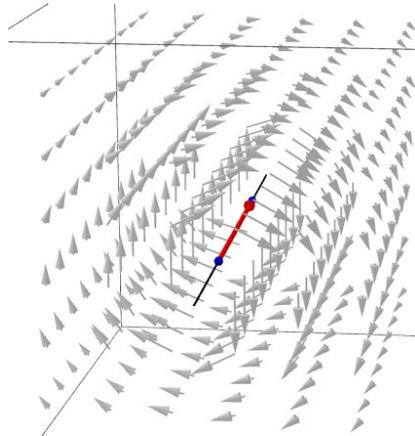
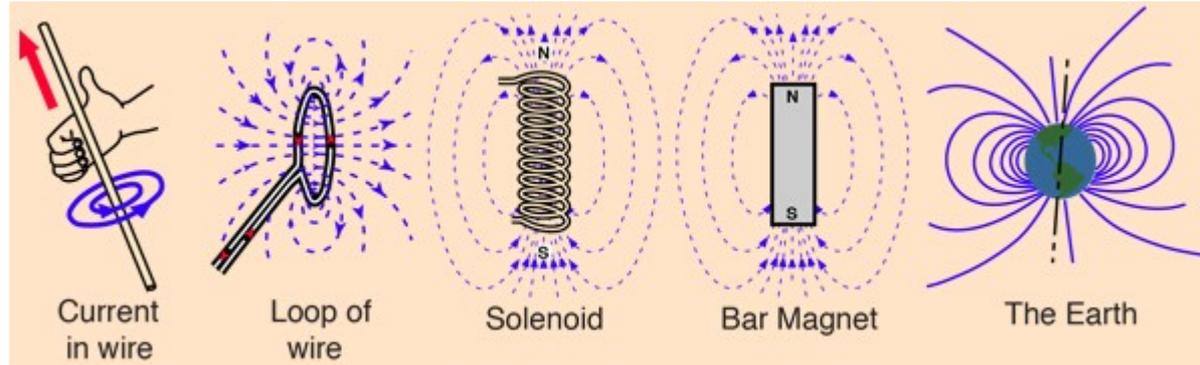
https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulacao/charges-and-fields



<https://www.geogebra.org/m/NQwe7K89>

Campo magnético

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/magfie.html>



<https://www.geogebra.org/m/RrQGTUqM>