

Partículas Elementares e Campos

O. L. G. Peres¹

¹Instituto de Física Gleb Wataghin
UNICAMP

1 de Setembro de 2014

Plano do curso

1 Ementa da Disciplina

Ementa de Partículas Elementares e Campos

- A página do curso está em <http://www.ifi.unicamp.br/~orlando/f140/>

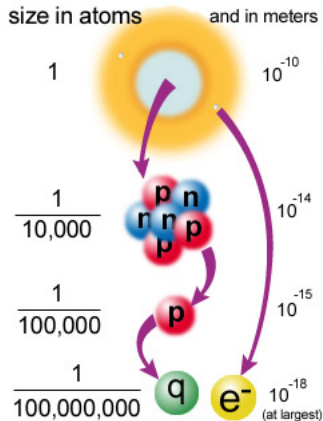
Aula do dia 1 de agosto

Aula do dia 1 de Setembro

O que é o Curso de Partículas Elementares e Campos

- Responder a pergunta do que a matéria é feita? Qual o seu menor comprimento? Como interagem?
- Aristóteles responderia que a **Água**, **Fogo**, **Ar** e **Terra** são os constituintes fundamentais.
- Poderíamos responder são prótons, neutrons e elétrons, mas prótons e neutrons não são elementares.
- O que caracteriza um partícula elementar?
 - **Indistinguibilidade**: um elétron no RS é igual a um elétron em São Paulo.
 - **Não ter uma estrutura espacial**: ser um ponto matématico.

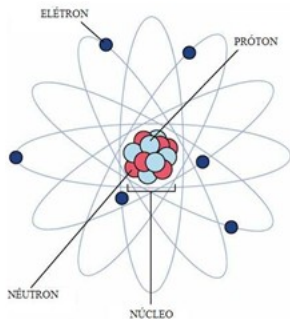
O que é o Curso de Partículas Elementares e Campos



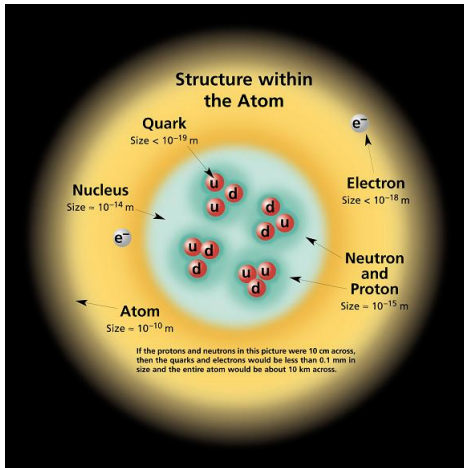
Se o átomo tem 100 km de comprimento que é da ordem da distância (SP-Campinas). Então o próton teria 1 m, o tamanho de uma pessoa e o elétron teria no máximo 1 mm. Distâncias muito pequenas: $\sim 10^{-9}$ nm.

O que é o Curso de Partículas Elementares e Campos

Energia átomo de Hidrogênio: -13.6 eV



O que é o Curso de Partículas Elementares e Campos

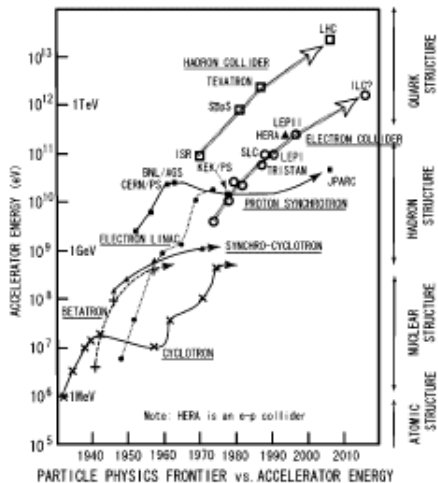


Átomo de Hidrogênio: 13.6 eV

$$\nu_e + {}^2_1\text{H} \rightarrow p + p + e^-:$$

Limiar: $E_\nu = 1.4210^6$ eV = 1.42 MeV

O que é o Curso de Partículas Elementares e Campos

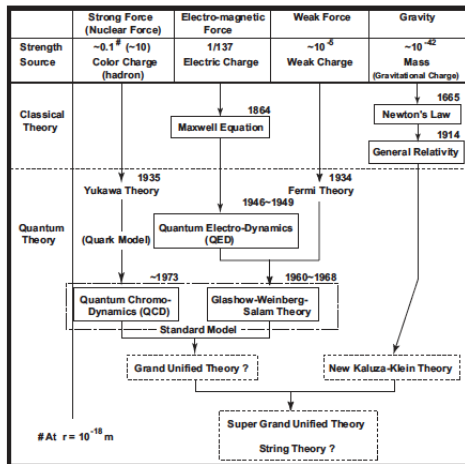


O que é o Curso de Partículas Elementares e Campos

- Velocidade do elétron no átomo de Hidrogênio:
 $v \sim 2.2 \times 10^3$ Km/s.
- Velocidade do elétron no acelerador Jefferson Lab,
 $E \sim 4\text{GeV}$: $v = 99.999999\%$ c.
- **Sistemas relativísticas!!**

O que é o Curso de Partículas Elementares e Campos

Unification of the Forces



O que é o Curso de Partículas Elementares e Campos

- Como medimos as partículas? Como sabemos que são elementares? Como as identificamos?
- Precisamos interagir com as partículas, segundo Georgi La Forge (Star Trek), ele pode ver todas as faixas do espectro eletromagnético e **mesmo neutrinos!!**



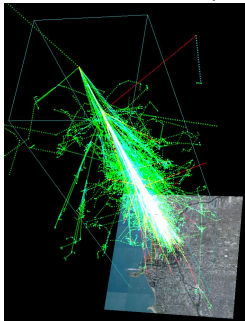
O que é o Curso de Partículas Elementares e Campos

Produção de partículas

- A principal fonte de partículas são raios cósmicos, aceleradores de partículas e reatores nucleares.

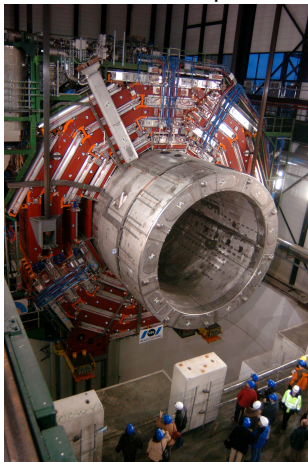
O que é o Curso de Partículas Elementares e Campos

Raios cósmicos: (em sua maioria prótons) colidem com a atmosfera



O que é o Curso de Partículas Elementares e Campos

Aceleradores de Partículas: elétrons ou prótons são aceleradores contra um alvo, e produz diferentes partículas: e^+ , μ , π , K , ν , \bar{p} .



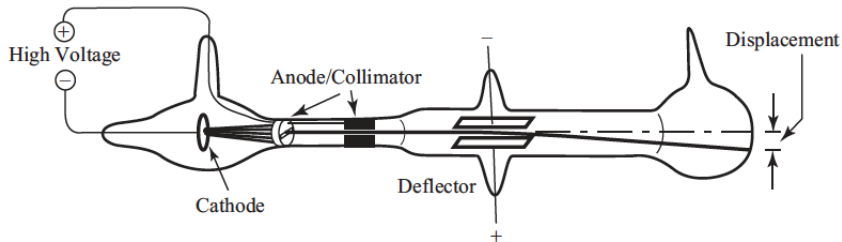
O que é o Curso de Partículas Elementares e Campos

Reatores nucleares: em Angra dos Reis: ν , n , α



O que é o Curso de Partículas Elementares e Campos

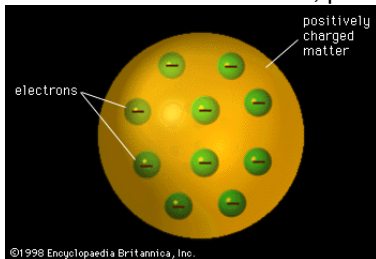
Descoberta do elétron por J.J. Thomson em 1897: medida da razão $\frac{q}{m}$: corpúsculo



Introdução Histórica de Física de Partículas

Modelo de Thomson

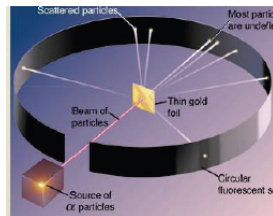
- os elétrons são uma parte do átomo
- O átomo é neutro: *modelo de pudim*: uma carga positiva é uniformemente distribuída, pesada



Introdução Histórica de Física de Partículas

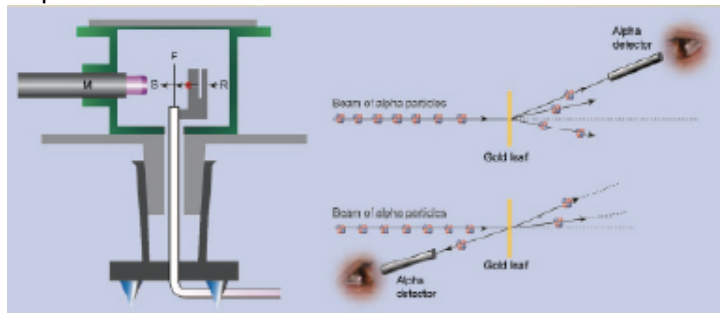
Experimento de Rutherford

- Lançamento de partículas $\alpha = \text{He}$ ionizado contra uma placa de ouro
- Medido o espalhamento: alguns eventos as partículas são espalhadas em ângulos de quase ~ 180 graus.



Introdução Histórica de Física de Partículas

Experimento de Rutherford II



O modelo de pudim estava errado, o espalhamento entre as cargas positivas do átomo e as partículas α não era consistente com pequenos ângulos de espalhamento.

Introdução Histórica de Física de Partículas

Modelo de Bohr

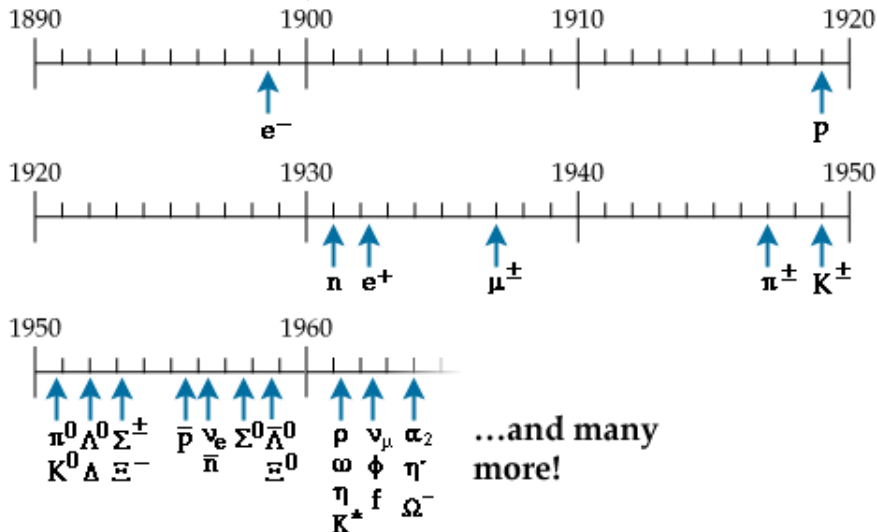
O átomo é um sistema solar com o próton como centro e o elétron orbitando ao redor. Descreve razoavelmente o espectro de linhas do Hidrogênio, mas não consegue explicar átomos maiores.

Física Nuclear antes de 1930: núcleo = $n_p + n_n$.

Exemplo: ${}^4\text{He} = 4p + 2e^-$, funciona sim. Mas ${}^{14}\text{N} = 14p + 7e^-$ é esperado ser um férmion, mas experimentalmente se comporta como um bóson.

Introdução Histórica de Física de Partículas

Descoberta do neutron, Chadwick



Introdução Histórica de Física de Partículas

Modelo de Átomo

- Átomo composto de um caroço bem localizado, composto de prótons e neutrons com uma eletrons orbitando ao redor do caroço: sinergia entre a teoria e os dados experimentais.

Introdução Histórica de Física de Partículas

Fóton

- Raios γ , poder de penetração grande em materiais.
- Planck sugeriu que quantas de luz são emitidos na radiação do corpo negro, com energia $E=h\nu$: $h= 6,62 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ Kg/s}$.
- Efeito fotoelétrico: Einstein explicou devido que quantas de luz interagem com os elétrons do metal.
- Experimento Compton: luz espalhada por um partícula em repouso segue uma lei: $\lambda' = \lambda + \lambda_C(1 - \cos \theta)$.
- **Interação eletromagnética: troca de fótons, partículas mediadoras.**

Introdução Histórica de Física de Partículas

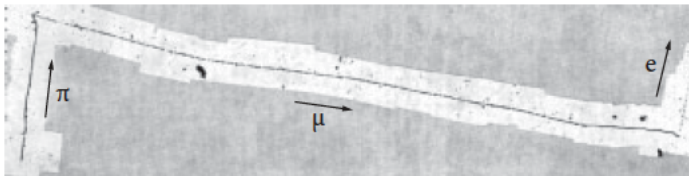
Mesons

- Modelo de Átomo : Carço bem localizado, composto de prótons e neutrons com uma eletrons orbitando ao redor do carço: sinergia entre a teoria e os dados experimentais.
Porque o núcleo não se parte devido a repulsão eletromagnética do prótons?
- Teoria Yukawa: prótons e neutrons são atraídos por uma força *forte*, e propos uma partícula mediadora que chamou de méson. Força de curto alcance: méson tem massa intermerdiária entre o elétron e o próton.

Introdução Histórica de Física de Partículas

A procura do meson de Yukawa

- Experimentos de Anderson identificaram partículas que poderiam ser o méson de Yukawa, mas as partículas medidas eram fracamente interagentes.
- Powell, Ochialini e Lattes mostraram que existiam duas partículas: meson π : $m_{\pi} \sim 140$ MeV e múon $m_{\mu} \sim 105$ MeV.

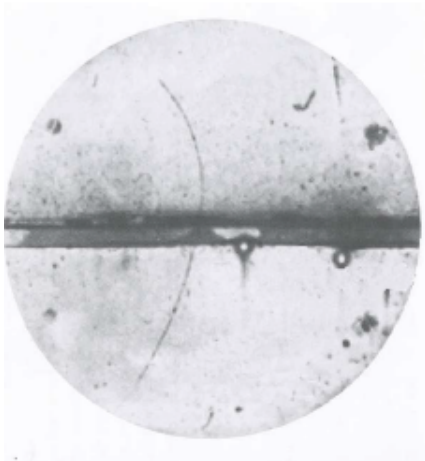


Introdução Histórica de Física de Partículas

Antipartículas

- Schroendinger procura uma equação para descrever partículas na Mecânica Quântica: primeira idéia: unificar Mecânica Quântica com a Relatividade: solução equação de Klein-Gordon. **Não funciona**. Descobre a equação de Schroendinger.
- Dirac procura uma solução e descobre a hoje chamada Equação de Dirac. **Problema: admite soluções de carga positivas e massas iguais a do elétron!**
- Anderson descobre partículas positivas e com massa igual a do elétron: começo das antipartículas.

Introdução Histórica de Física de Partículas



Descoberta do pósitron

Introdução Histórica de Física de Partículas

Exemplos de antipartículas

- elétron $e^- \rightarrow$ pósitron e^+
- próton $p, \rightarrow \bar{p}$
- neutron $n, \rightarrow \bar{n}$
- fóton: $\gamma \rightarrow \gamma$
- múon : $\mu^- \rightarrow, \mu^+$

Introdução Histórica de Física de Partículas

A existência de antipartículas permite a existência do fenômeno de simetria de cruzamento

Se existe a reação $A + B \rightarrow C + D$ então as reações

$A \rightarrow \bar{B} + C + D$, $A + \bar{C} \rightarrow \bar{B} + D$, $\bar{C} + \bar{D} \rightarrow \bar{A} + \bar{B}$ seriam possíveis, onde \bar{A} significa a antipartícula de A .