

# Partículas Elementares e Campos

O. L. G. Peres<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Física Gleb Wataghin  
UNICAMP

3 de agosto de 2015



- A página do curso está em <http://sites.ifi.unicamp.br/orlando/ensino/fisica-de-particulas-fi140>

## Aula do dia 5 de agosto

## Neutrino

1896: Henri Becquerel descobriu radioatividade natural enquanto estudava propriedades de fluorescência de sais de urânio.

Raios  $\alpha$  : fácil de absorver, difícil de desviar, carga positiva, mono-energético

Raios  $\beta$  : difícil de absorver, fácil de desviar, carga negativa, espectro?;

Raios  $\gamma$  : sem carga, muito difícil de absorver Em 1930, uma série de experimentos se mostrou núcleos instáveis, radioativos, A é o núcleo instável, B um núcleo mais leve :  $A \rightarrow B + e^-$ .

O espectro do decaimento era contínuo: que não podemos explicar por um decaimento de dois corpos.

# Introdução Histórica de Física de Partículas II

Dear Radioactive Ladies and Gentlemen,

I have come upon a desperate way out regarding the wrong statistics of the  $^{14}\text{N}$  and  $^6\text{Li}$  nuclei, as well as the continuous  $\beta$ -spectrum, in order to save the "alternation law" statistics and the energy law. To wit, the possibility that there could exist in the nucleus electrically neutral particles, which I shall call "neutrons," and satisfy the exclusion principle... The mass of the neutrons should be of the same order of magnitude as the electron mass and in any case not larger than 0.01 times the proton mass. The continuous  $\beta$ -spectrum would then become understandable from the assumption that in  $\beta$ -decay a neutron is emitted along with the electron, in such a way that the sum of the energies of the neutron and the electron is constant... For the time being I dare not publish anything about this idea and address myself to you, dear radioactive ones, with the question how it would be with experimental proof of such a neutron, if it were to have the penetrating power equal to about ten times larger than a  $\gamma$ -ray.

I admit that my way out may not seem very probable *a priori* since one would probably have seen the neutrons a long time ago if they exist. But only the one who dares wins, and the seriousness of the situation concerning the continuous  $\beta$ -spectrum is illuminated by my honored predecessor, Mr Debye who recently said to me in Brussels: "Oh, it is best not to think about this at all, as with new taxes." One must therefore discuss seriously every road to salvation. Thus, dear radioactive ones, examine and judge. Unfortunately, I cannot appear personally in Tübingen since a ball... in Zürich... makes my presence here indispensable. ...

Your most humble servant, W. Pauli

*Adapted summary of an English Translation to Pauli's letter dated December 4, 1930, from Ref. 3.*

-Pauli propõe uma nova partícula: neutra, férmion, mais leve do que o elétron: chamada neutrino.

não confundir com o neutrão de Chadwick

Decaimento radioativo:  $n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$

Os decaimentos do muon e do pión podiam ser explicados como  $\pi \rightarrow \mu\nu$  e  $\mu \rightarrow e2\nu$ .

1934: Teoria de Fermi das Interações fracas  
Interação corrente-corrente

$H \sim G_F(\bar{p}\Gamma n)(\bar{e}\Gamma\nu_e)$ ,  $\Gamma = (1, \gamma_5, \gamma_\mu, \gamma_\mu\gamma_5, \sigma_{\mu\nu})$ .

Prediz a reação  $\bar{\nu} + p \rightarrow e^+ + n$  (ghost particle)

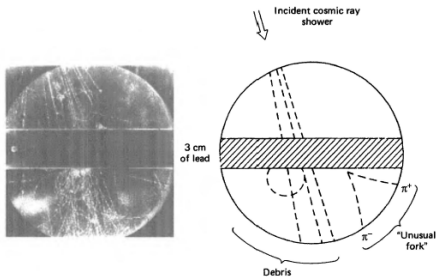
1956: Descoberta do neutrino (Reines and Cowan)  
no reator nuclear do Savannah River.

Através de  $\bar{\nu} + p \rightarrow e^+ + n$  com medida do pósitron  
 $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$  e do neutrão ( $nN \rightarrow N^* \rightarrow N + \gamma s$ ).

# Introdução Histórica de Física de Partículas II

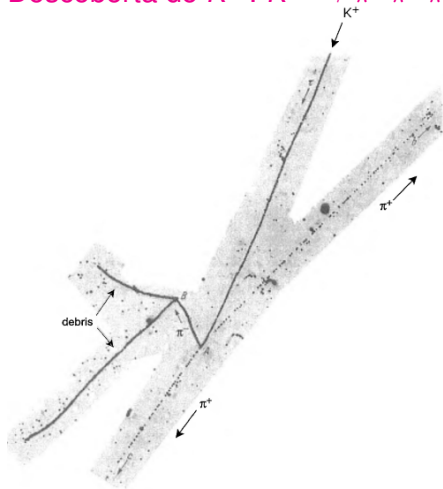
- Como a reação  $\bar{\nu} + p \rightarrow e^+ + n$  ocorre, a reação espelho  $\nu + n \rightarrow e^- + p^+$  deve ocorrer. Cowan e Reines testaram se a reação :  $\bar{\nu} + n \rightarrow e^- + p^+$  existe ou não? **Não existe tal reação..**
- Número leptônico: neutrino, eletron, muon tem  $L=+1$ , antineutrino, positron, antimuon tem  $L=-1$ .
- A reação  $\mu \rightarrow e + \gamma$  não ocorre!! Número leptônico diferente para eletrons e muons.  $L_e = +1$  para eletrons e neutrinos do eletron;  $L_\mu = +1$  para muons e neutrinos do muon. Isto implica na existência de dois neutrinos.
- **1962, Lederman et al:**  $\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu$  e então  $\bar{\nu}_\mu + p^+ \rightarrow \mu^+ + n$  e a não existência de  $\bar{\nu}_\mu + p^+ \rightarrow e^+ + n$ .

Descoberta da primeira partícula estranha:  $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$





Descoberta do  $K^+$ :  $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$

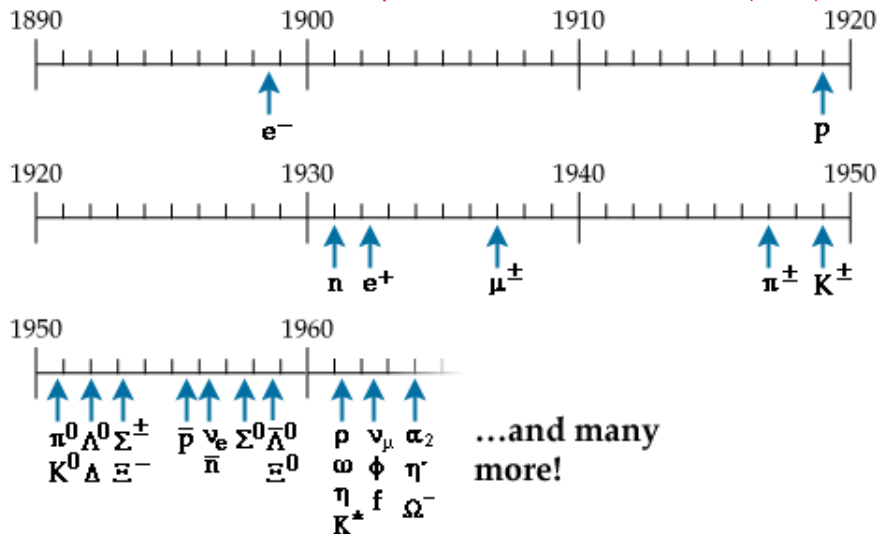


# Introdução Histórica de Física de Partículas II

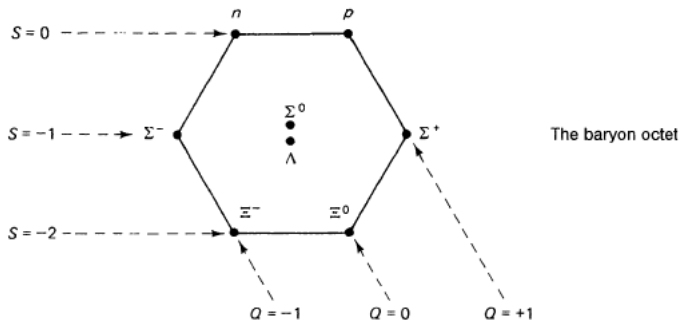
- Descoberta de  $\Lambda$ :  $\Lambda \rightarrow p^+ \pi^-$ . Porque o próton não decaie?  $p^+ \rightarrow e^+ \gamma$  não existe. Conservação de número bariônico.
- $n \rightarrow p^+ e^- \bar{\nu}_e$ ;  $p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p}$
- Conservação da estranheza:  $\pi^- + p^+ \rightarrow K^+ + \Sigma^-$  existe, mas não  $\pi^- + p^+ \rightarrow \pi^+ + \Sigma^-$ . Mas existe  $\Lambda \rightarrow p^+ + \pi^-$ ,  $\Sigma^+ \rightarrow p^+ + \pi^0$

# Introdução Histórica de Física de Partículas II

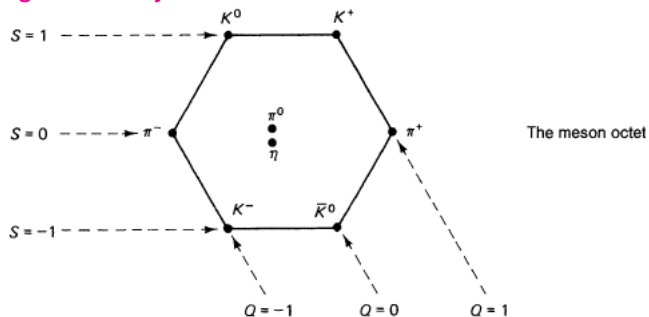
Descoberta de várias outras partículas: Who ordered it? (Rabi)



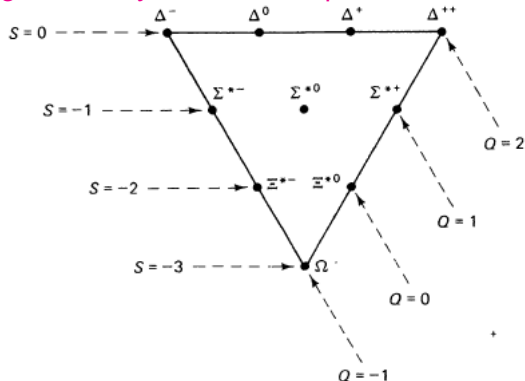
## Eightfold Way: Gellman-Ne'eman



## Eightfold Way: Mésons

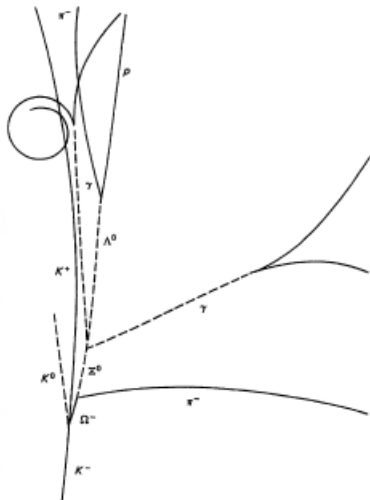
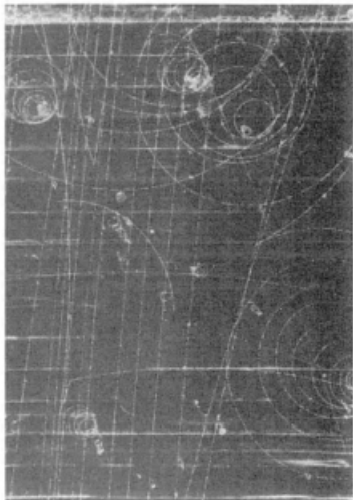


## Eightfold Way: Bárion decuplete

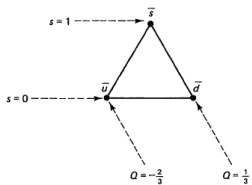


# Introdução Histórica de Física de Partículas II

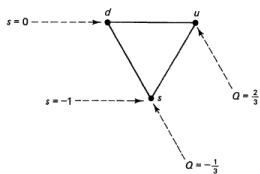
## Descoberta do $\Omega^-$



# Introdução Histórica de Física de Partículas II



The antiquarks



The quarks

Gellman/Zweig propuseram a idéia de quarks: partículas fermiônicas de carga fracionária

Regras:

1) Todos bárions são formados de três quarks.

2) Todos mésons são formados de quark e anti-quark.

A partir disto podemos construir todos os decupletos de hadrons e mésons.





# Introdução Histórica de Física de Partículas II

The baryon decuplet

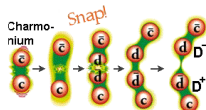
$qqq$	$Q$	$S$	Baryon
$uuu$	2	0	$\Delta^{++}$
$uud$	1	0	$\Delta^+$
$udd$	0	0	$\Delta^0$
$ddd$	-1	0	$\Delta^-$
$uus$	1	-1	$\Sigma^{*+}$
$uds$	0	-1	$\Sigma^{*0}$
$dds$	-1	-1	$\Sigma^{*-}$
$uss$	0	-2	$\Xi^{*0}$
$dss$	-1	-2	$\Xi^{*-}$
$sss$	-1	-3	$\Omega^-$

The meson nonet

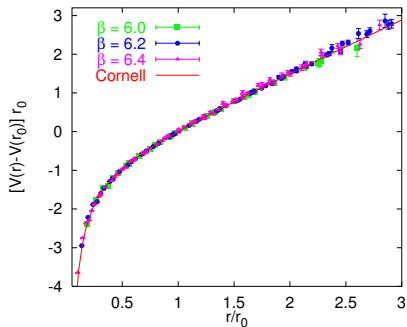
$q\bar{q}$	$Q$	$S$	Meson
$u\bar{u}$	0	0	$\pi^0$
$u\bar{d}$	1	0	$\pi^+$
$d\bar{u}$	-1	0	$\pi^-$
$d\bar{d}$	0	0	$\eta$
$u\bar{s}$	1	1	$K^+$
$d\bar{s}$	0	1	$K^0$
$s\bar{u}$	-1	-1	$K^-$
$s\bar{d}$	0	-1	$\bar{K}^0$
$s\bar{s}$	0	0	$??$

# Introdução Histórica de Física de Partículas II

Podemos ver um quark livre? Não, veja a Figura abaixo.



Confinamento: o potencial para arrancar um quark aumenta com a distância:

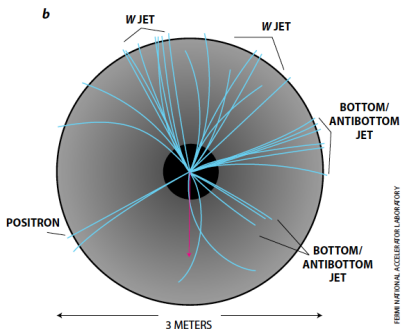
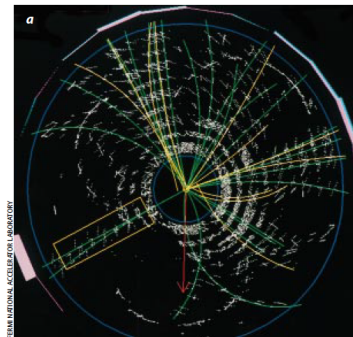


# Introdução Histórica de Física de Partículas II

- 1970: Descoberta de  $J/\psi$ : estado  $c\bar{c}$ . Novo quark?
- 1975: Descoberta do lépton tau ( $\tau$ )
- 1980: Descoberta do quark bottom
- 2001: Medição direta do neutrino do tau:  $\nu_\tau$

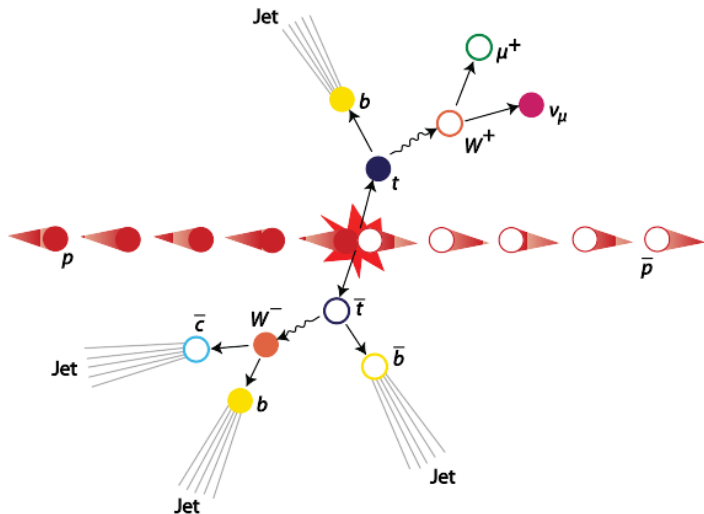
# Introdução Histórica de Física de Partículas II

1995: Descoberta do quark top

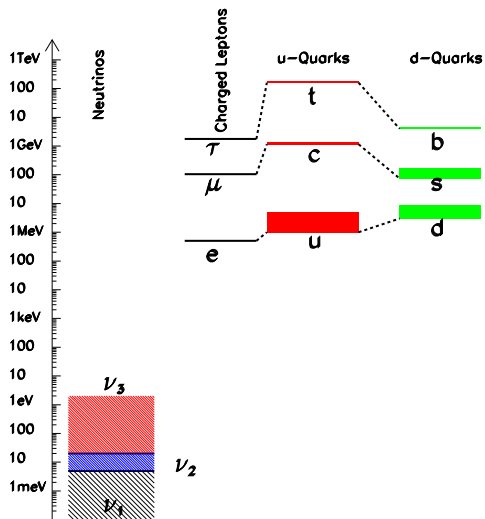


UERJ/CBPF

# Introdução Histórica de Física de Partículas II



# O que são massas em física de partículas?

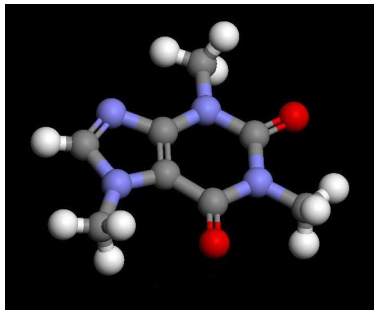


# O que são massas em física de partículas?

A massa da partícula elementar mais pesada, o **quark top** tem a mesma massa de um molécula mais importante para um físico:

# O que são massas em física de partículas?

A massa da partícula elementar mais pesada, o **quark top** tem a mesma massa de um molécula mais importante para um físico:



a molécula da cafeína.



# O que são massas em física de partículas?

Massas de neutrinos são minúsculas frente a outras partículas!!

