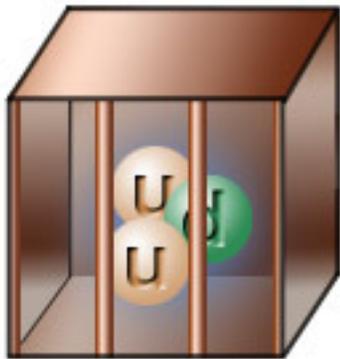


Física de Hádrons



Marina Nielsen

Fernando S. Navarra

Curso de verão

Instituto de Física – USP

02/2006

Partículas Elementares (metade do sec. XX)

léptons spin 1/2	mésons spin inteiro	bárions spin semi-inteiro
e (0.5 MeV)	π (138 MeV)	p (938 MeV)
ν_e (~ 0)	K (490 MeV)	n (938 MeV)
μ (105 MeV)	ρ (770 MeV)	Δ (1230 MeV)
ν_μ (~ 0)	ω (770 MeV)	Λ (1115 MeV)
τ (1780 MeV)	ϕ (1020 MeV)	Ω (1670 MeV)
ν_τ (~ 0)	J/ Ψ (3100 MeV)	Λ_c (2280 MeV)
	... —	...



Hádrons

FOLHA DE S.PAULO
CIÊNCIA

01/05/2003

Física

**Grupo detecta
nova partícula
subatômica**

surpreendeu os cientistas, que agora precisarão repensar algumas das relações de força entre os vários tipos de quark. O estudo será publicado na revista “Physical Review Letters”.

Pesquisadores do Slac (Centro Acelerador Linear de Stanford), nos EUA relataram a detecção de uma nova partícula subatômica, a $D_{sJ}(2317)$. Trata-se de um arranjo composto por um quark do tipo “charm” e um antiquark do tipo “strange”. Quarks são as peças de que são feitos prótons e neutrons e existem em seis tipos. Antiquarks compõe as antipartículas correspondentes. A $D_{sJ}(2317)$ já era prevista em teoria, mas nunca havia sido observada. Sua massa

Maioria dos hádrons é instável \Rightarrow possível indicação de que possuem estrutura:

Hádrons não são fundamentais

Gell-Mann e Zweig \rightarrow propõem a existência dos
(1964) **quarks**

Quarks \rightarrow constituintes dos hádrons

bárions \rightarrow **3 quarks**

mésons \rightarrow **quark - antiquark**

carga fracionária!

Tipos de quarks



sabor

up

carga

$+2/3$

massa/ M_e

~ 15



down

$-1/3$

~ 15



strange

$-1/3$

~ 250

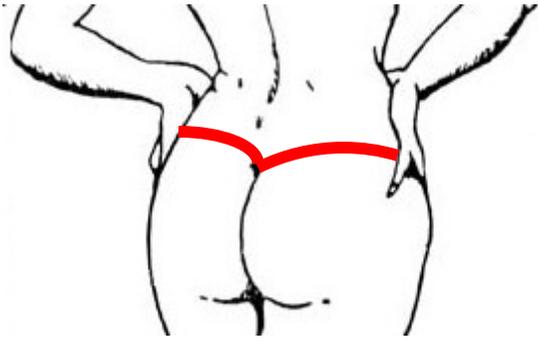


charm(1974)

$+2/3$

~ 2500

(1975) descoberta do $\tau \rightarrow$ mais dois quarks!



bottom (1977)

$-1/3$

~ 10000



top (1995)

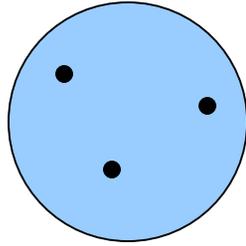
$+2/3$

~ 350000

Partículas Elementares

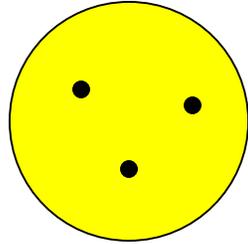
Quarks	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b bottom
Leptons	ν_e e- Neutrino	ν_μ μ - Neutrino	ν_τ τ - Neutrino
	e electron	μ muon	τ tau

próton



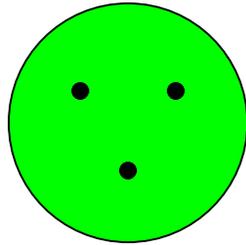
$$u(2/3)u(2/3)d(-1/3) \Rightarrow Q=+1$$

neutron



$$u(2/3)d(-1/3)d(-1/3) \Rightarrow Q=0$$

Δ^{++}

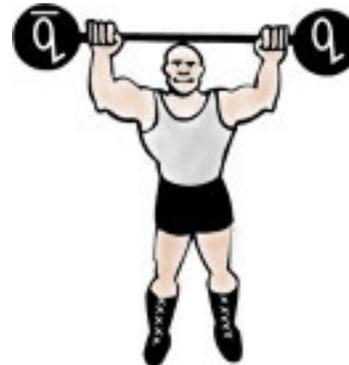


$$u(2/3)u(2/3)u(2/3) \Rightarrow Q=+2$$

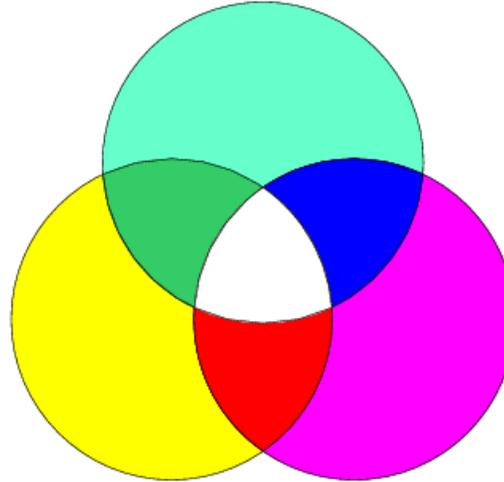
Problema: Princípio de Pauli \Rightarrow novo número quântico

cor

Interação Forte



HADRONS



BÁRIONS

$$\text{cyan} + \text{yellow} + \text{magenta} = \text{white}$$

$$\text{blue} + \text{green} + \text{red} = \text{white}$$

MÉSONS

$$\text{blue} + \text{yellow} = \text{white}$$

$$\text{magenta} + \text{green} = \text{white}$$

$$\text{cyan} + \text{red} = \text{white}$$

GLÚONS

$$\text{red} + \text{magenta} = \text{white}$$

$$\text{red} + \text{yellow} = \text{white}$$

$$\text{green} + \text{cyan} = \text{white}$$

$$\text{green} + \text{yellow} = \text{white}$$

$$\text{blue} + \text{cyan} = \text{white}$$

$$\text{blue} + \text{magenta} = \text{white}$$

⋮

Resumo das Forças



Gravitacional

Fraca

Eletromagnética

Forte

graviton

(ainda não observado)

todas partículas

W^+ W^- Z^0

quarks e
léptons

fóton

partículas com
carga elétrica

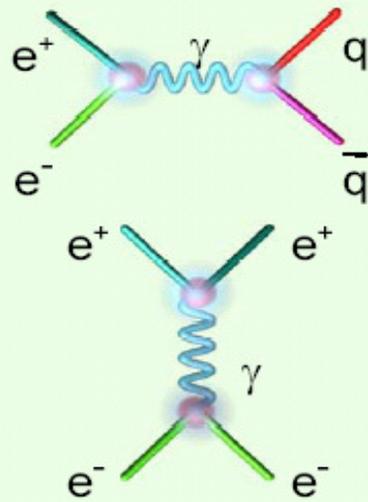
gluon

quarks e
gluons

Cor é confinada: não existem quarks livres!

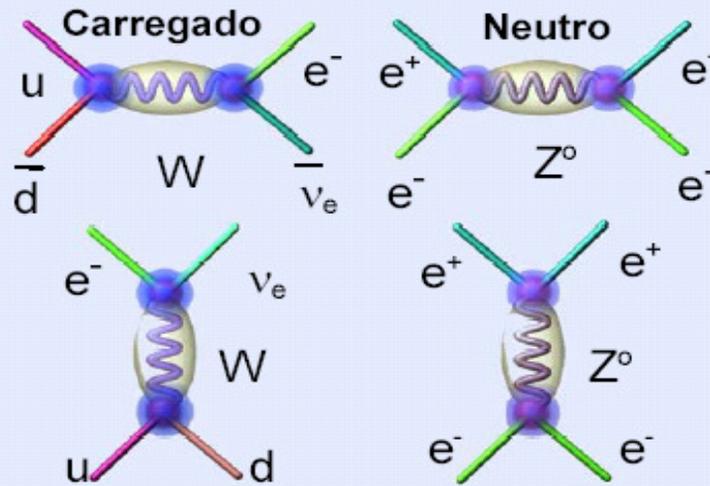
Electrofraca

Eletromagnética



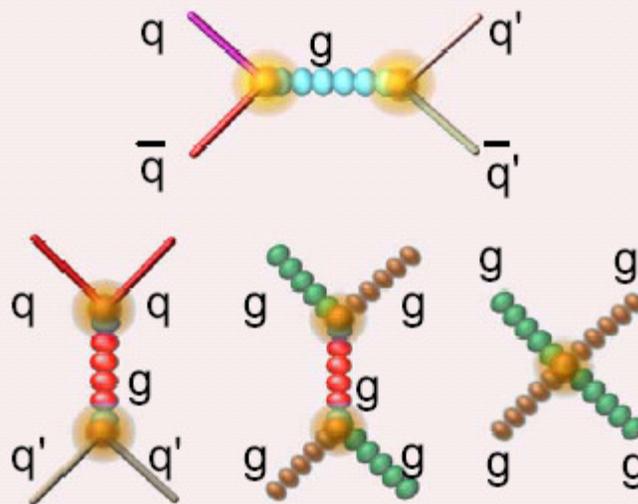
Alcance ∞ , Intensidade $\leq 10^{-2}$

Fraca

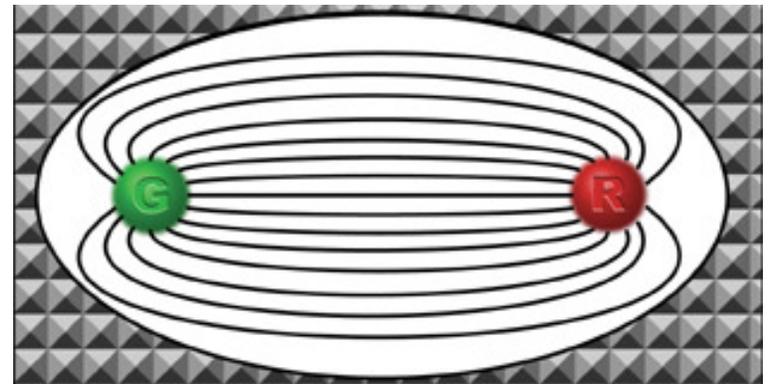
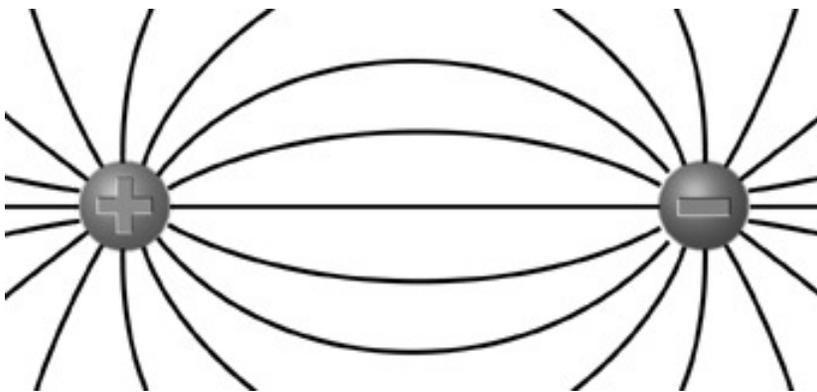
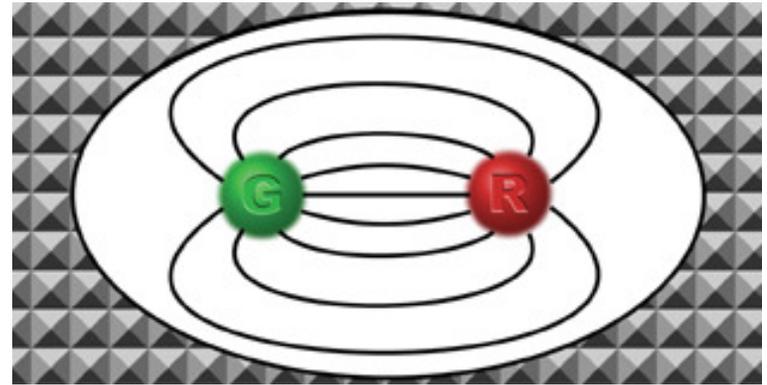
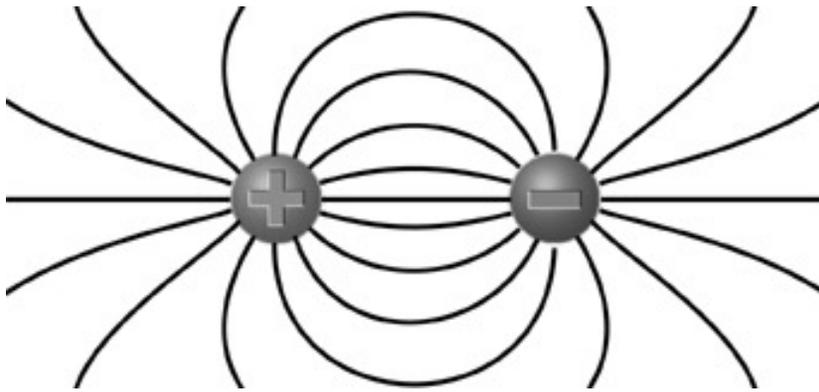


Alcance $\sim 10^{-18}$ m, Intensidade 10^{-14}

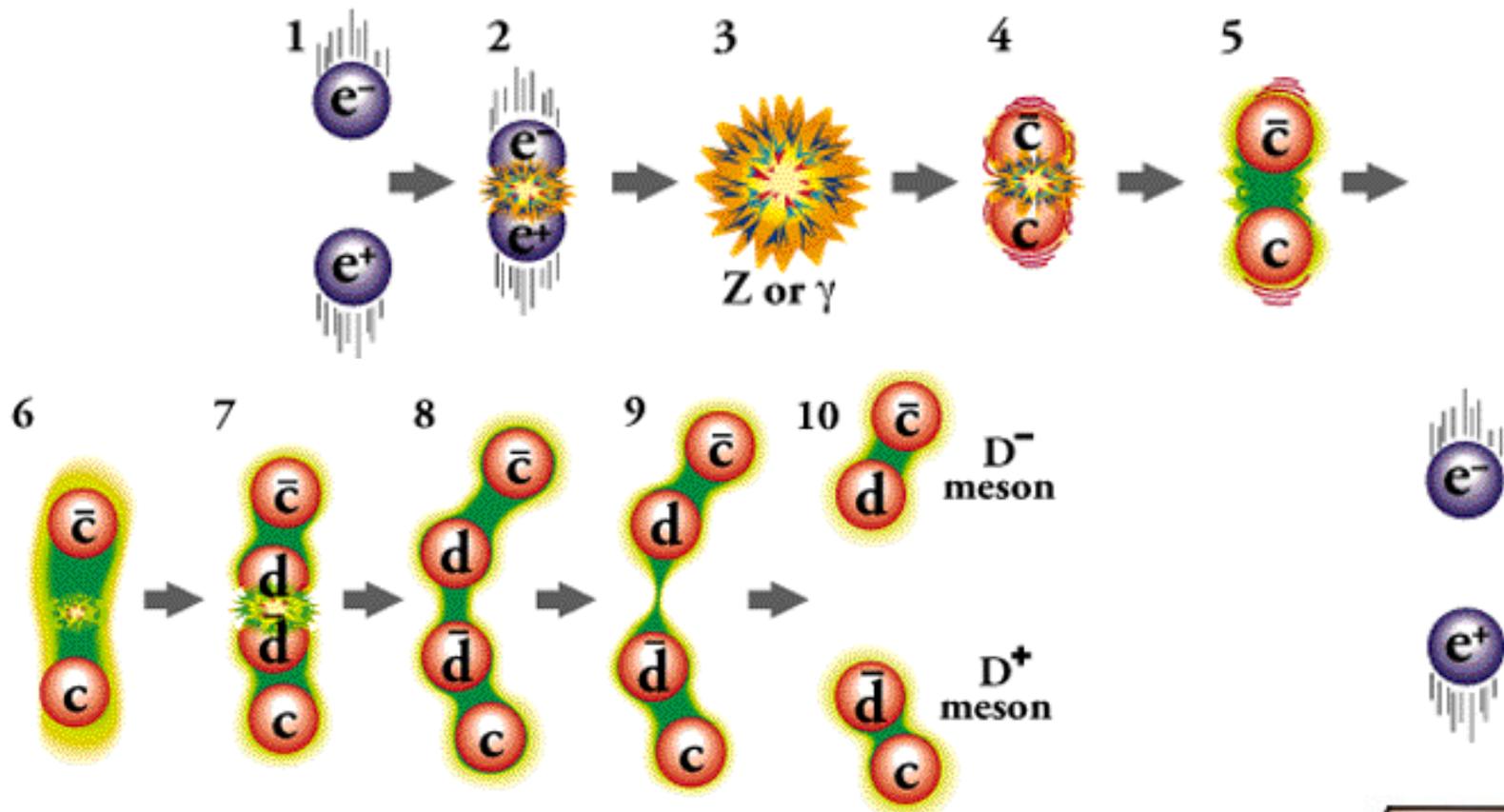
Forte



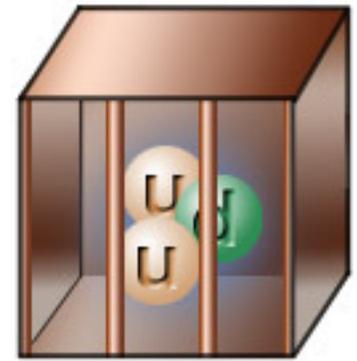
Alcance $\sim 10^{-16}$ m, Intensidade = 1



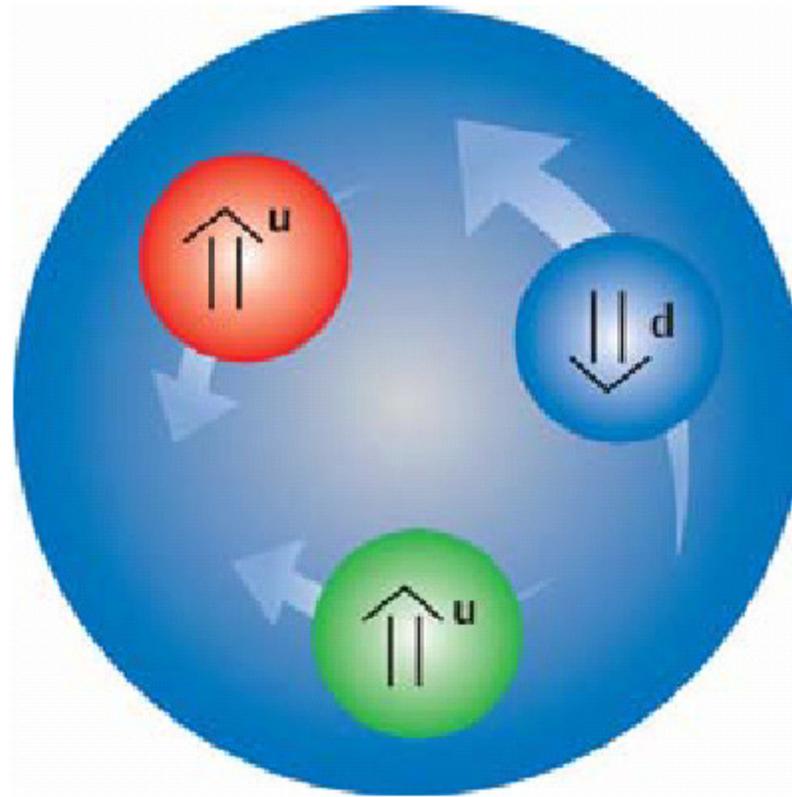
Para separar as cargas de cor é necessária uma energia infinita!



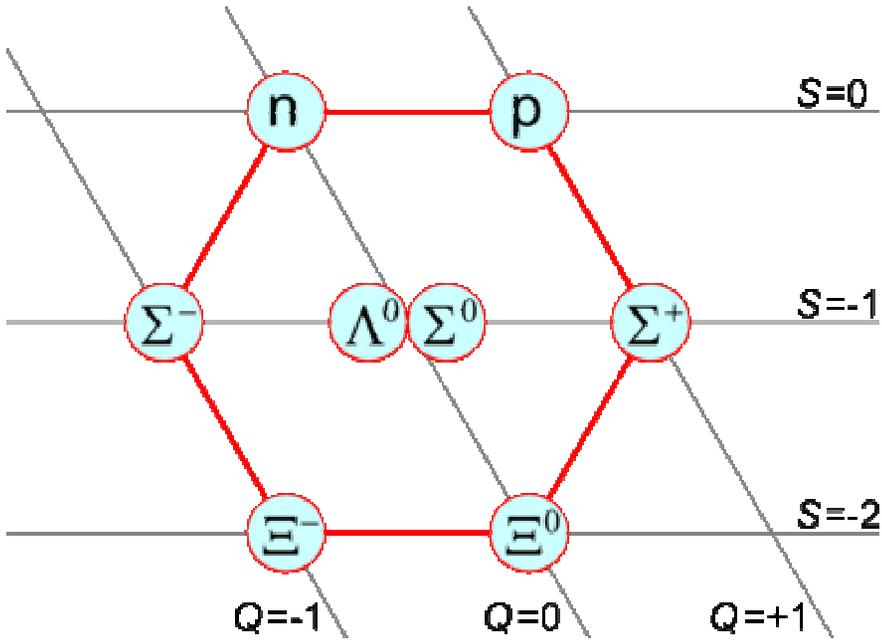
Hadrons são neutros na cor: brancos
quarks são confinados



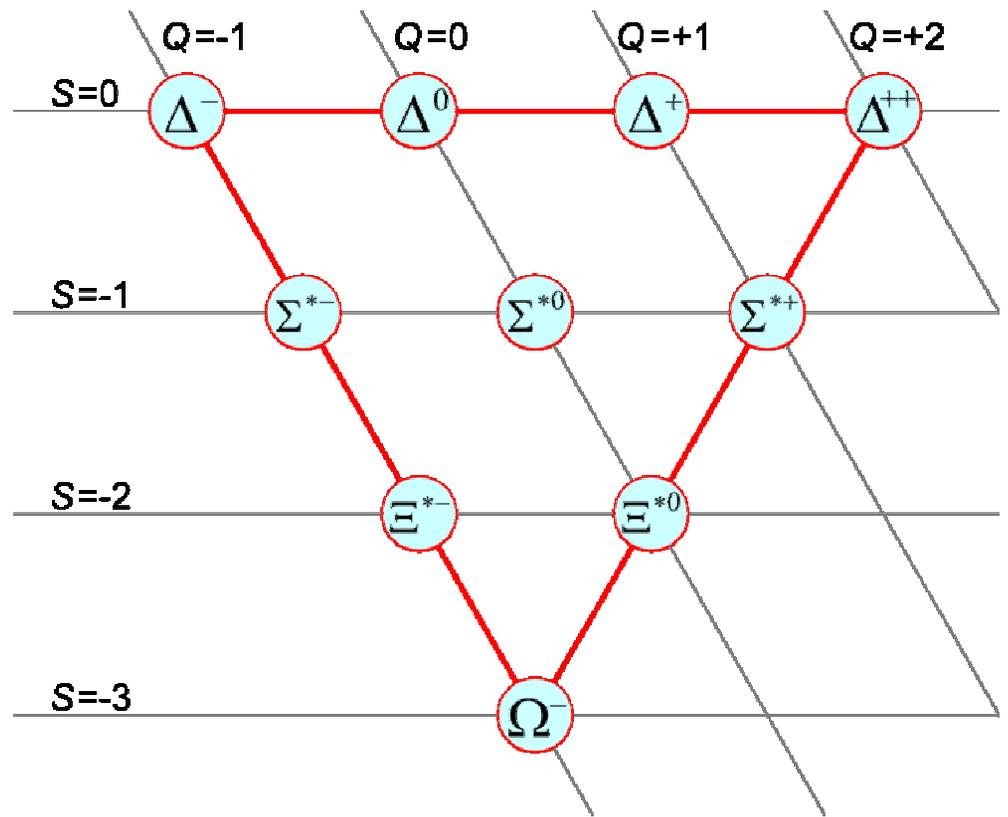
Bárions: três quarks, cada um de uma cor



Bárions em SU(3): u,d,s



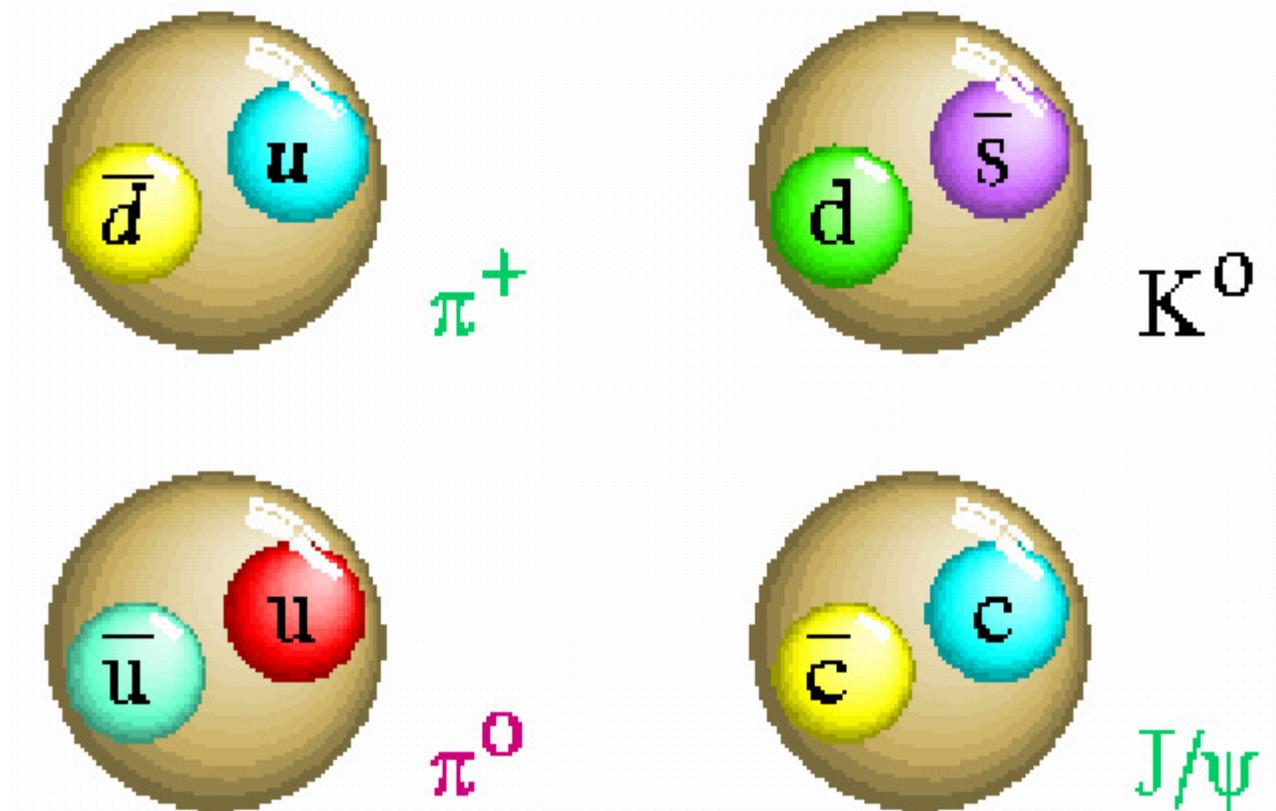
bárions de spin 1/2



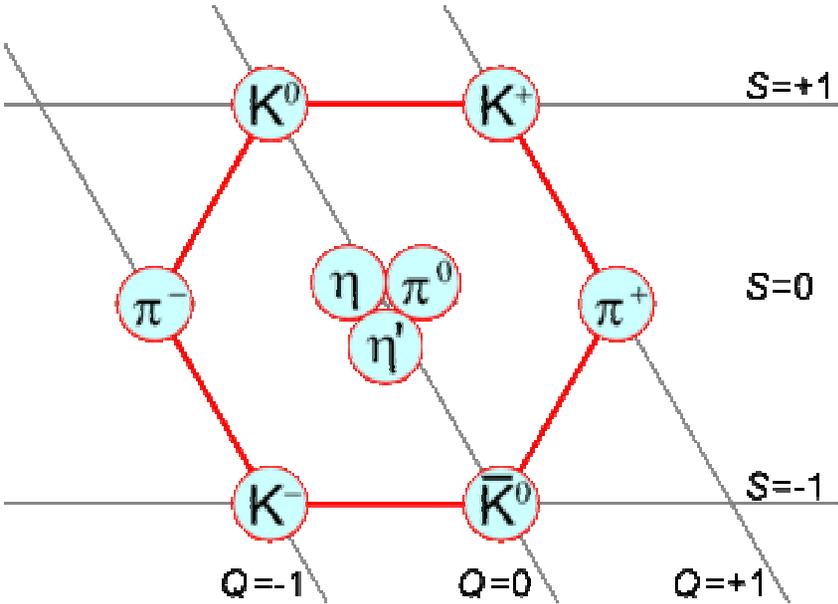
bárions de spin 3/2

O conteúdo de quarks e o spin dão a hierarquia na massa

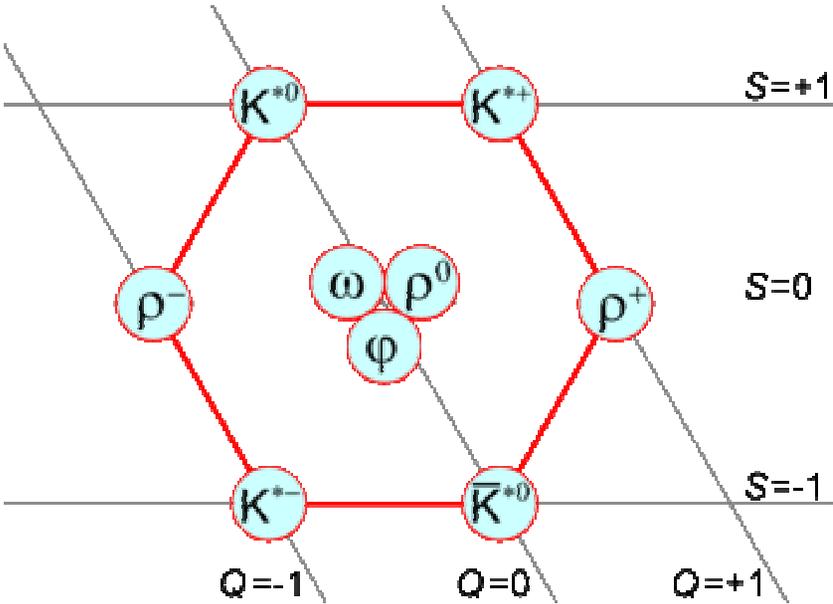
Mésons: um quark e um anti-quark \Rightarrow uma cor e uma anti-cor



Mésons em SU(3): u,d,s

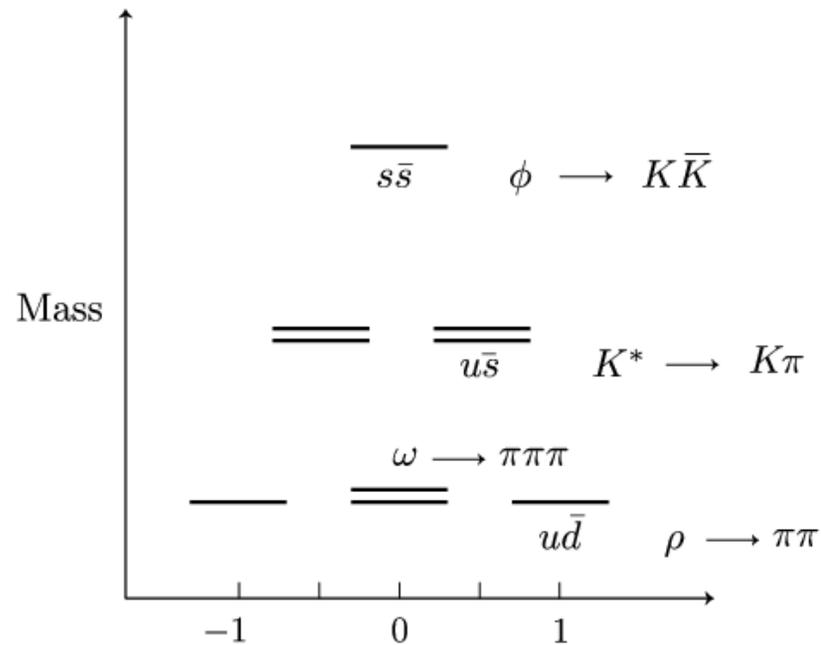


mésons pseudoescalares
spin 0

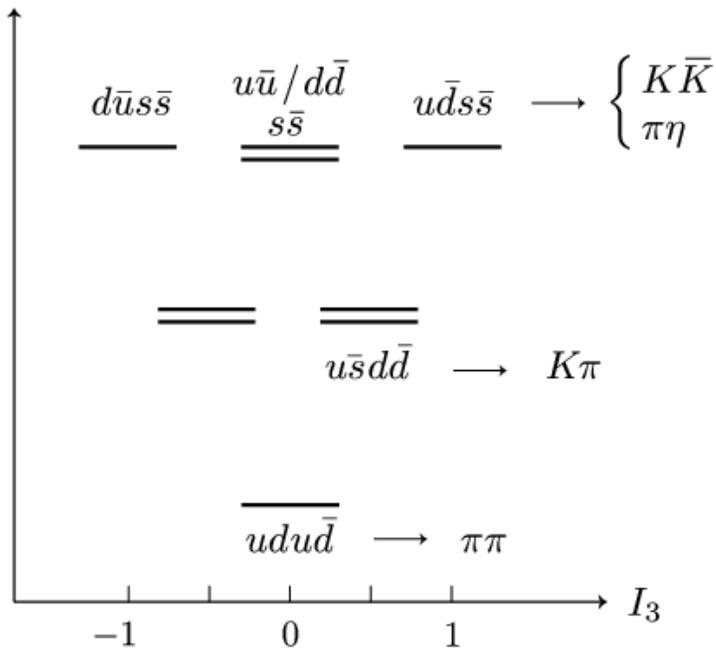


mésons vetoriais
spin 1

O tipo dos quarks e o spin dão a hierarquia na massa



mésons escalares: $\sigma(500)$, $\kappa(800)$, $a_0(980)$, $f_0(980)$



Nem só de dois e três
vivem os brancos!!!

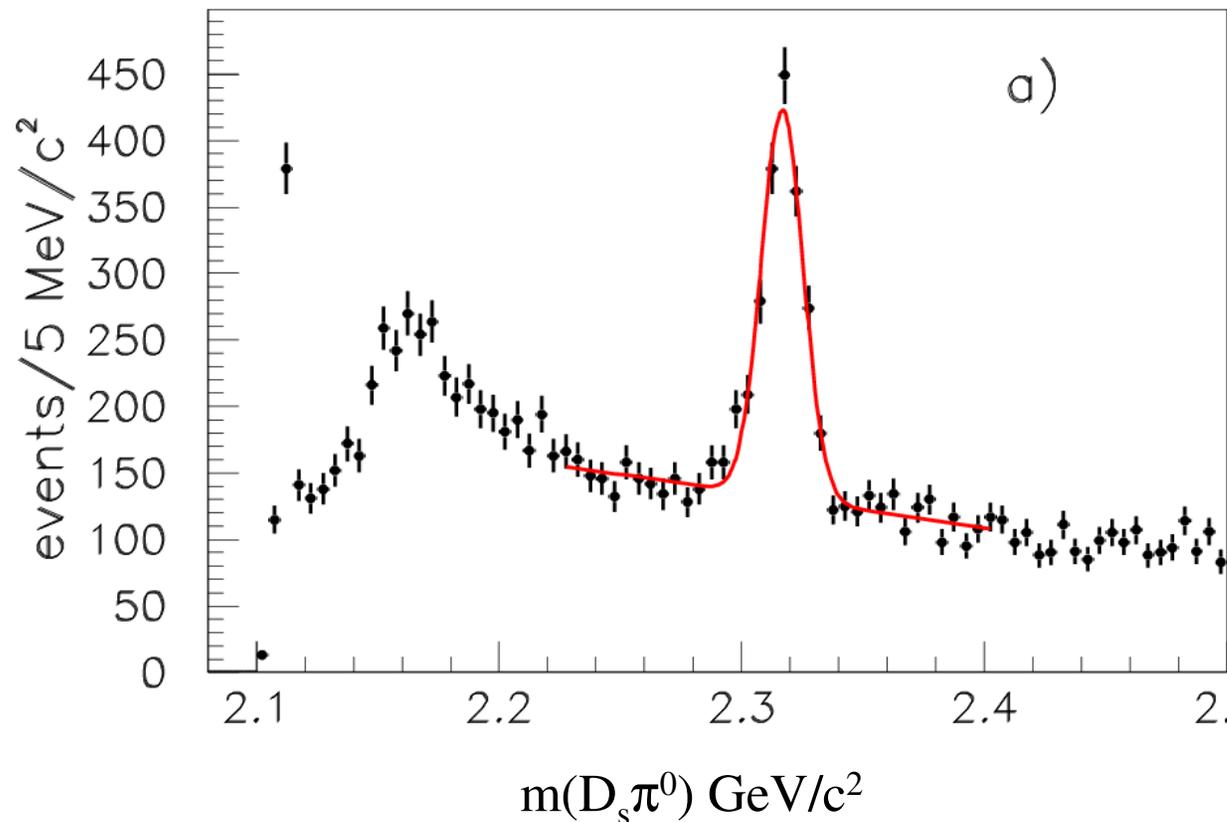
Tetraquarks???

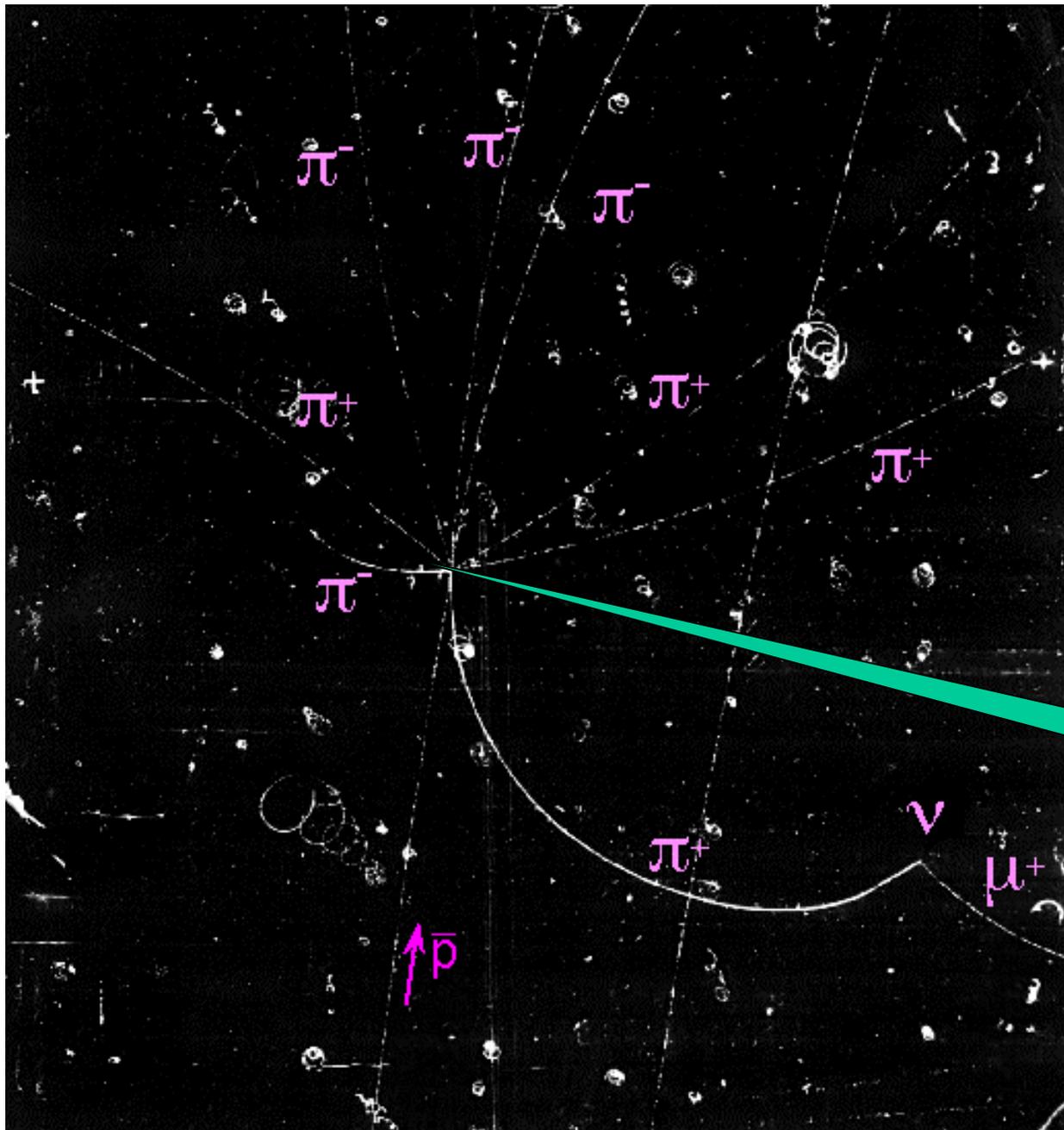
2003: Annus Mirabilis?

05/2003: (BaBar) $D_{sJ}^+(2317) \rightarrow D_s^+\pi^0$ (meson escalar)

06/2003: (CLEO) $D_{sJ}^+(2460) \rightarrow D_s^{*+}\pi^0$ (meson axial)

08/2003: (Belle) $X(3872) \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^+$ (meson axial)





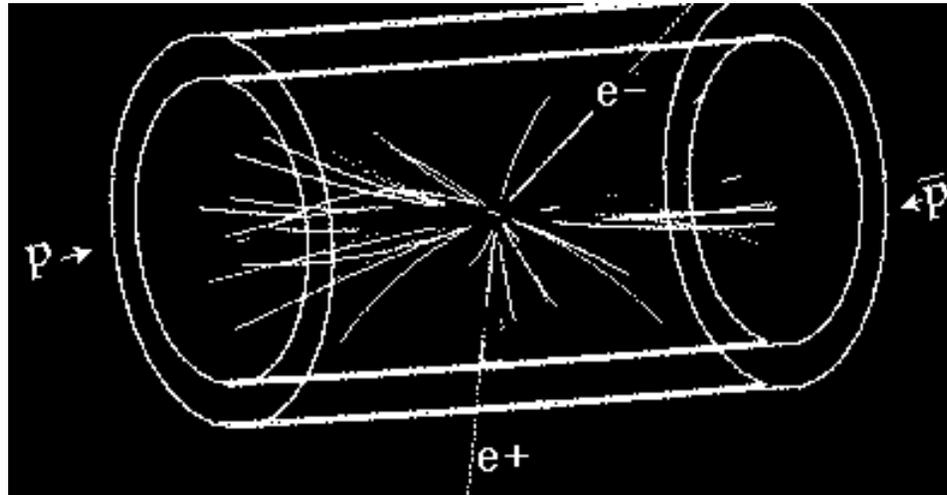
colisão
próton-antipróton



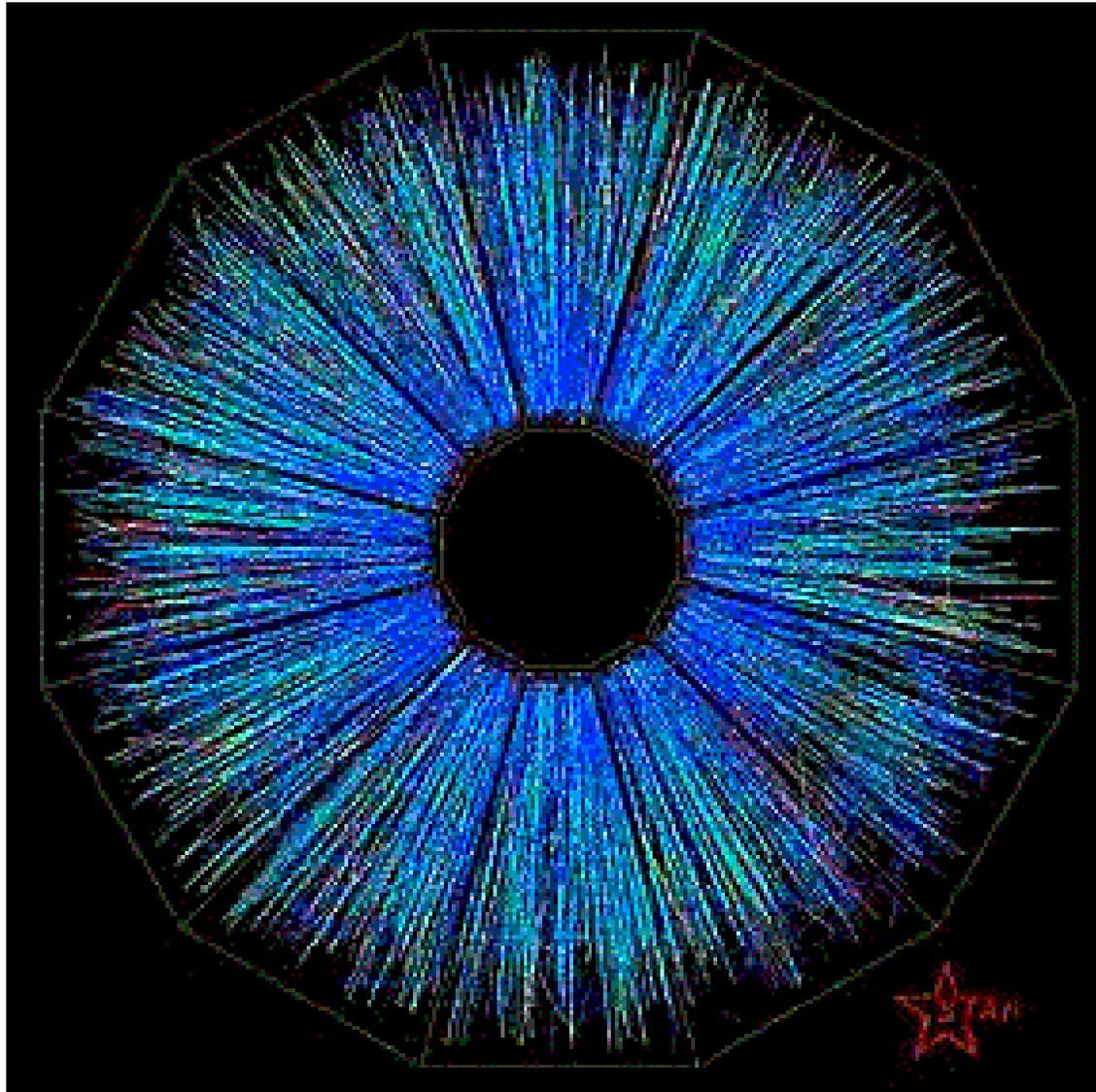
8 píons
 $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$

próton em
repouso

Detetores gravam milhões de dados durante uma colisão. Por esse motivo é necessário usar computadores para analisar esses dados e descobrir quais partículas foram criadas, além de verificar se os dados são compatíveis com a teoria existente. É assim que se confirmam ou se descartam teorias.



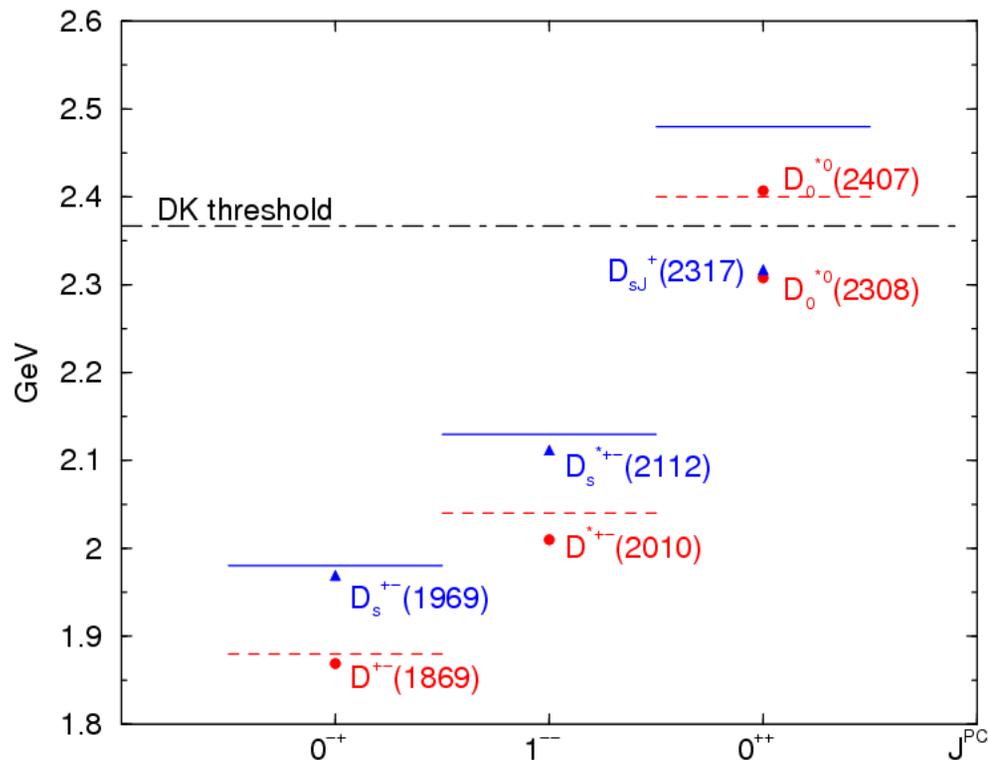
Essa figura mostra uma reconstrução de uma colisão próton-antipróton que produziu um par elétron-pósitron e muitas outras partículas. Foi em processos desse tipo que se obteve evidências para a existência do bóson Z, e dos quarks top e bottom.



Colisão Au-Au no RHIC – USA

05/2003: (BaBar) $D_{sJ}^+(2317) \rightarrow D_s^+\pi^0$ (meson escalar)
 06/2003: (CLEO) $D_{sJ}^+(2460) \rightarrow D_s^{*+}\pi^0$ (meson axial)
 08/2003: (Belle) $X(3872) \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^+$ (meson axial)

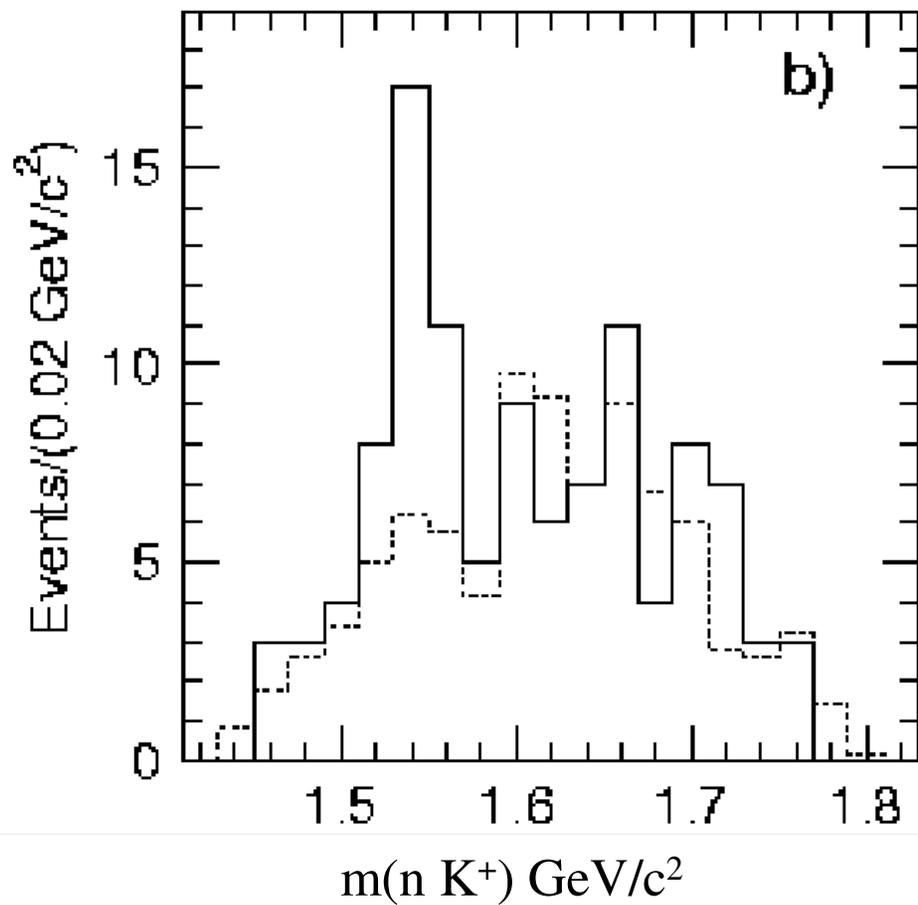
Todos eles com massas menores que as previsões!!!



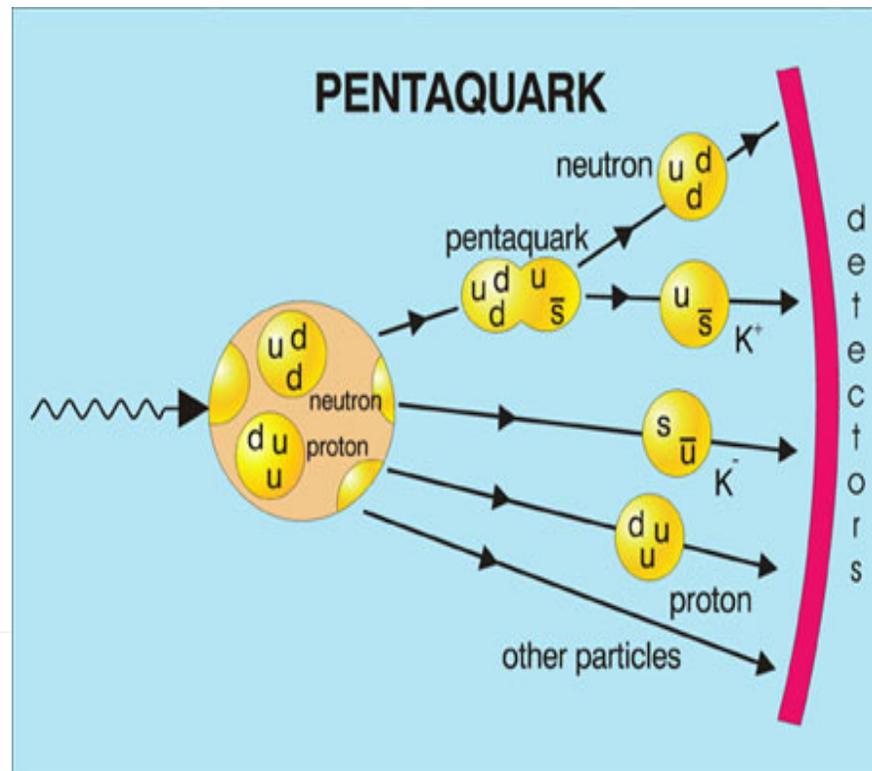
● experimental
 ----- teoria

Tetraquarks???

06/2003: (SPRing-8) γ $^{12}\text{C} \rightarrow \text{K}^- \text{K}^+ \text{n X}$



$\Theta^+(1540) \rightarrow n K^+$





BUSCA

DICAS

 SOMENTE NO ACERVO
DA REVISTA CH

 RECEBA NOTÍCIAS
DA CH POR E-MAIL

EDIÇÃO ATUAL

ARQUIVO 2005

ARQUIVO 2004

ARQUIVO 2003

ARQUIVO 2002

ARQUIVO 2001

ARQUIVO 2000

ARQUIVO 1999

INSTRUÇÕES PARA AUTORES

REVISTA CH 210 - NOVEMBRO DE 2004 - ARTIGO

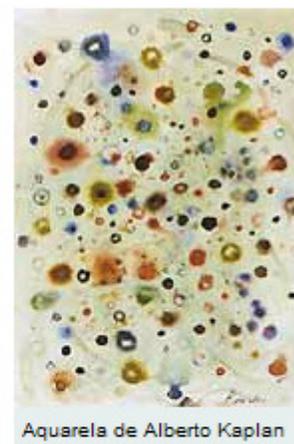
**Pentaquark: uma nova partícula subatômica?**

Se confirmada, sua existência pode mudar a forma como se entende a estrutura da matéria

Desde que foi anunciado, há cerca de um ano, o pentaquark já foi motivo de várias conferências internacionais e assunto de, pelo menos, 300 artigos científicos. Isso dá uma idéia do interesse com que foi recebido pela comunidade de física de partículas. No entanto, não há ainda uma resposta consensual para uma pergunta aparentemente simples: o pentaquark é uma nova partícula? Se sua existência for confirmada de forma definitiva, o pentaquark – cujo nome deriva do fato de ele ser formado por cinco entidades menores, os quarks – terá, sem dúvida, conseqüências importantes para a estrutura fundamental da matéria e possíveis novos estados dela. Esperam-se os primeiros resultados dos experimentos dedicados a confirmar sua existência para o ano que vem. Até lá, vale conhecer um pouco mais sobre essa descoberta.

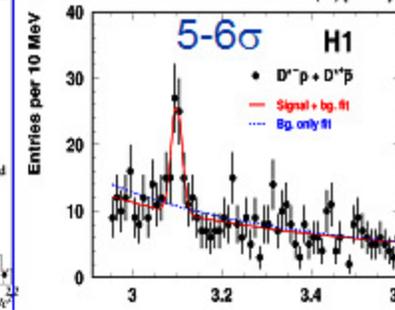
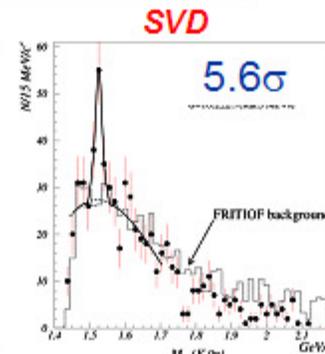
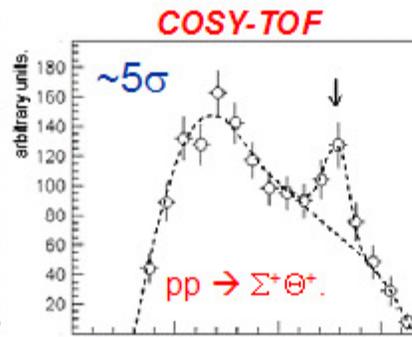
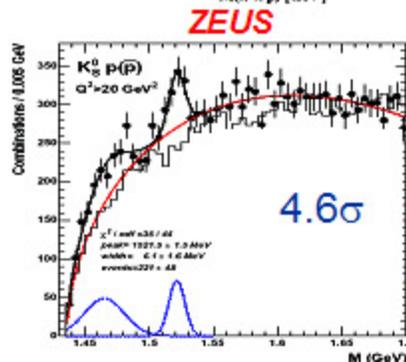
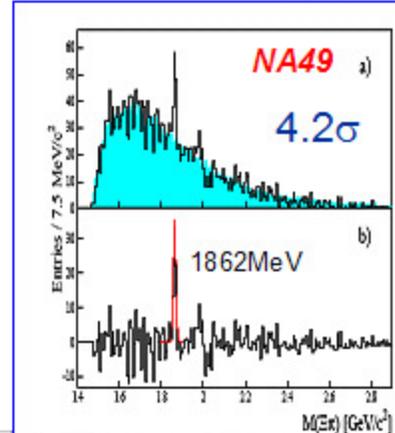
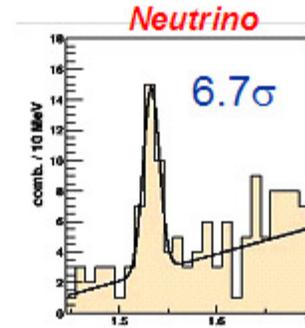
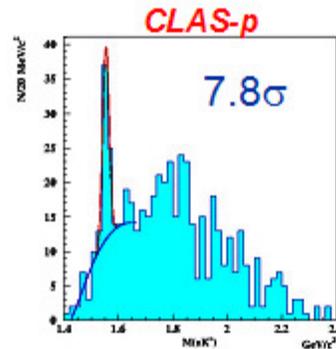
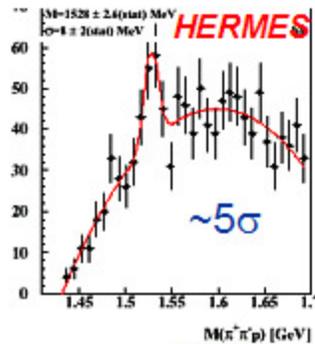
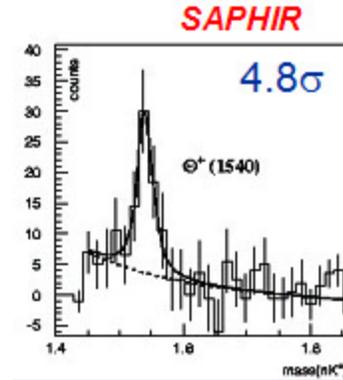
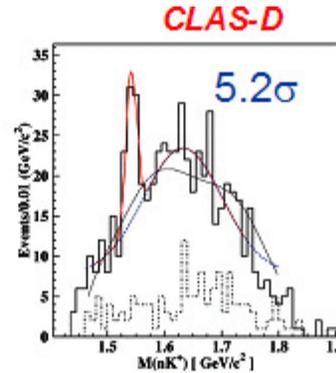
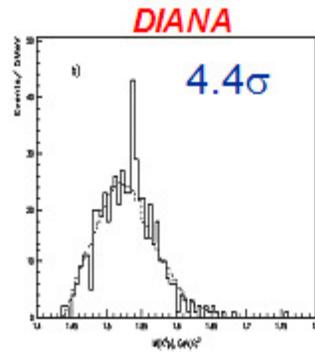
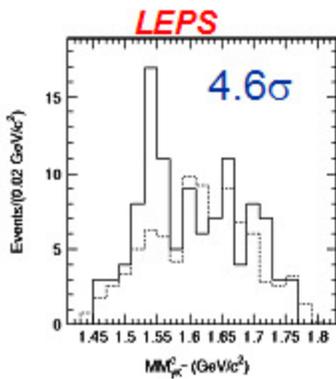
Ao longo deste último ano, vários grupos de físicos experimentais anunciaram ter obtido evidências sobre a existência do que parece ser um novo tipo de partícula subatômica: o pentaquark. Porém, antes de analisarmos o significado desses anúncios, valeria aqui fazer um breve resumo do que se conhece sobre as partículas elementares, os constituintes últimos da matéria.

Já se passaram quase 100 anos desde que o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) propôs que o átomo era, na verdade, formado por elétrons orbitando um núcleo central de carga positiva, cuja



Aquarela de Alberto Kaplan

Evidências Experimentais para o pentaquark



Evidências Experimentais para o pentaquark

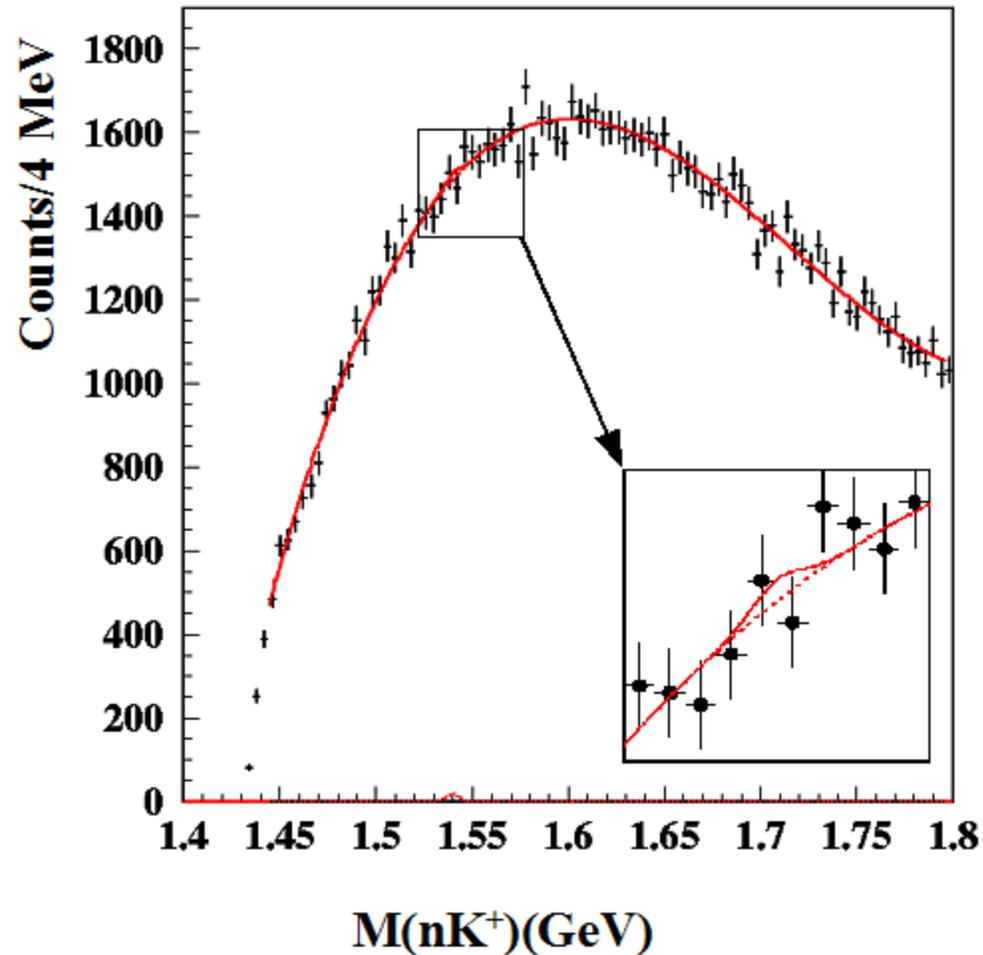
Group	Reaction	Mass	Width	σ 's
LEPS	$\gamma C \rightarrow K^+ K^- X$	1540 \pm 10	< 25	4.6
DIANA	$K^+ X e \rightarrow K^0 p X$	1539 \pm 2	< 9	4.4
CLAS	$\gamma d \rightarrow K^+ K^- p(n)$	1542 \pm 5	< 21	5.2
SAPHIR	$\gamma p \rightarrow K^+ K^0(n)$	1540 \pm 6	< 25	4.8
ITEP	$\nu A \rightarrow K^0 p X$	1533 \pm 5	< 20	6.7
CLAS	$\gamma p \rightarrow \pi^+ K^- K^+(n)$	1555 \pm 10	< 26	7.8
HERMES	$e^+ d \rightarrow K^0 p X$	1528 \pm 3	13 \pm 9	\sim 5
ZEUS	$e^+ p \rightarrow e' K^0 p X$	1522 \pm 3	8 \pm 4 (5)	\sim 5
SVD	$p A \rightarrow K^0 p X$	1526 \pm 3	< 10	5.5
COSY	$pp \rightarrow K^0 p \Sigma^+$	1530 \pm 5	< 18	4-6

Resultados nulos para o pentaquark

Grupo	Reação	Limite
BES	$e^+e^- \rightarrow J/\Psi \rightarrow \Theta\Theta$	$< 1.1 \times 10^{-5}$ B.R.
Belle	$e^+e^- \rightarrow B^0\bar{B}^0 \rightarrow ppK^0X$	$< 2.3 \times 10^{-7}$ B.R.
BaBar	$e^+e^- \rightarrow Y(4s) \rightarrow pK^0X$	$< 1.0 \times 10^{-4}$ B.R.
HERA-B	$pA \rightarrow K^0pX$	$\Theta/\Lambda^* < 0.02$
CDF	$pp \rightarrow K^0pX$	$\Theta/\Lambda^* < 0.03$
PHENIX	$Au + Au \rightarrow K^- nX$	not given
SPHINX	$pC \rightarrow \Theta^+K^0 X$	$\Theta^+K^0/\Lambda^*K^+ < 0.02$
HyperCP	$pA \rightarrow \Theta^+K^0 X$	$\Theta^+/pK^0 < 0.002$

...
(16 experiências)

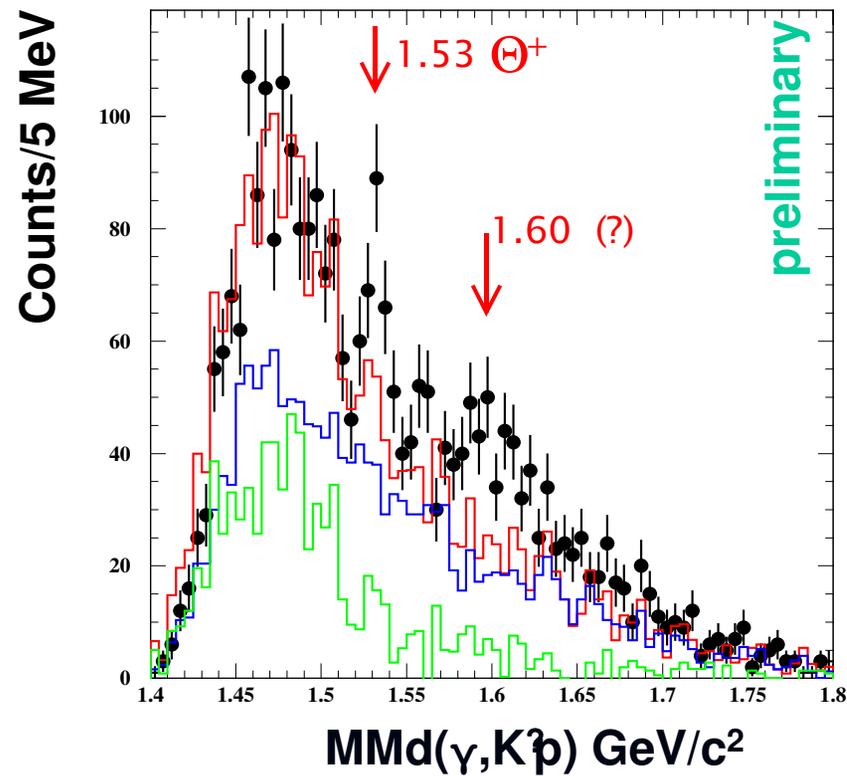
Segunda geração de dados no CLAS



os novos dados não mostram sinal do pentaquark!

New results from LEPs

$\gamma D \rightarrow K^- p X$; $M(K^- p) = \Lambda^*(1520)$



?

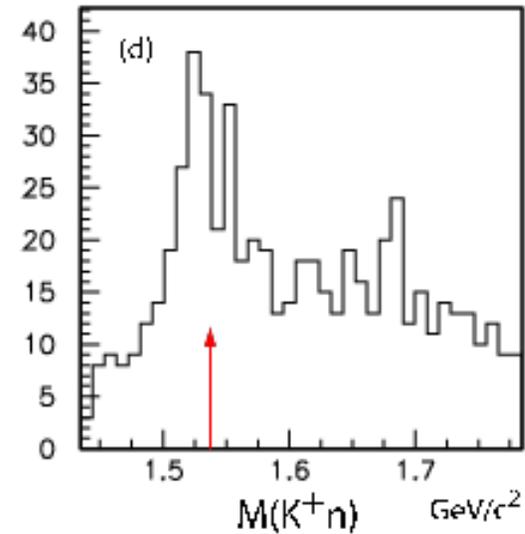
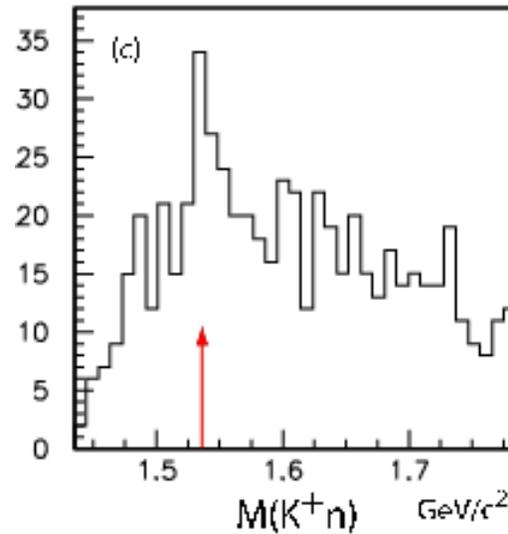
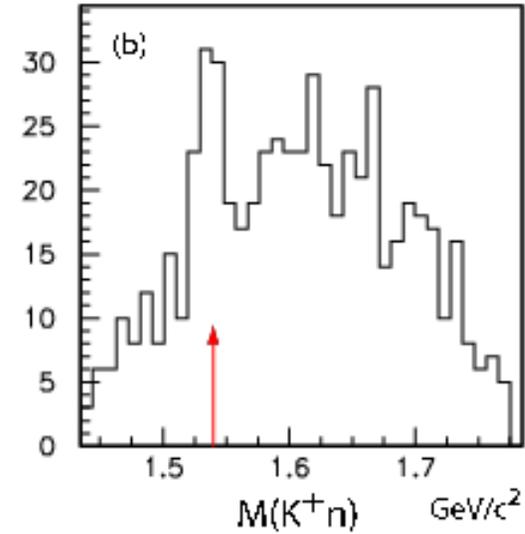
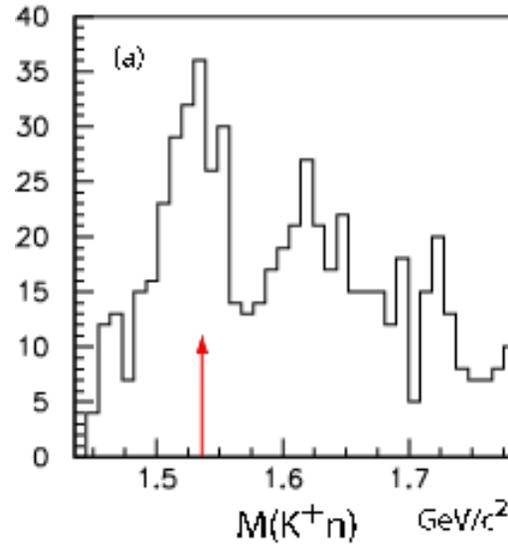
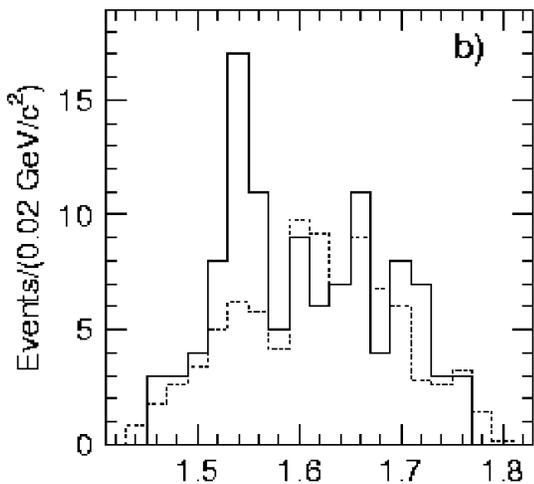
Porque eles
repetem
experiências?



As 11 experiências estavam erradas?????

Problemas de análise podem falsear dados?

Dzierba, Meyer, Szczepaniak, hep-ex/0412077



CONCLUSÕES

Partículas Elementares

Quarks	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b bottom
	ν_e e- Neutrino	ν_μ μ - Neutrino	ν_τ τ - Neutrino
Leptons	e electron	μ muon	τ tau

quarks confinados nos hadrons

mesons



barions



Tetraquarks?
Pentaquarks?