

DOS RAIOS CÓSMICOS AOS 20
ACELERADORES DE PARTÍCULAS 24

100 ANOS DE CÉSAR LATTES,
90 ANOS DA USP E 70 ANOS DO CERN

César Lattes & as Interações Hadrônicas

Victor P. Goncalves

IFM/UFPel/Brasil & IMP/Academia Chinesa de Ciências/China

barros@ufpel.edu.br



IF – USP
03/07/2024

Comentários Iniciais:

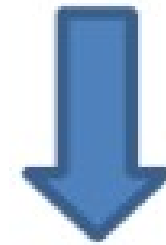
Comentários Iniciais:



Comentários Iniciais:



Um dos meus ícones na ciência!



- Contribuições científicas que revolucionaram a física teórica & experimental;
- Decisão de permanecer no Brasil para estabelecer uma política científica nacional.

Comentários Iniciais:

Departamento de Física Nuclear

+55 11 3091-6967 / secdfn@if.usp.br



São Paulo, 03 de junho de 2024.

Prezado Prof. Dr. Victor Paulo Barros Gonçalves,

Em nome da comissão organizadora do Simpósio *“Dos Raios Cósmicos aos Aceleradores de Partículas: 100 anos de César Lattes, 90 anos da USP e 70 anos do CERN”*, que ocorrerá no Instituto de Física da Universidade de São Paulo de 01 a 03 de julho de 2024, venho convidá-lo a ministrar uma palestra plenária durante o nosso evento sobre os resultados recentes da área de interações hadrônicas, buscando resgatar as contribuições originais de Cesar Lattes. Este será um evento comemorativo e também com discussões sobre resultados recentes em diversas áreas da Física Nuclear e de Partículas. Será uma honra poder contar com sua valiosa contribuição para este evento.

Comentários Iniciais:

Departamento de Física Nuclear

+55 11 3091-6967 / secdfn@if.usp.br



O convite:

São Paulo, 03 de junho de 2024.

Prezado Prof. Dr. Victor Paulo Barros Gonçalves,

Em nome da comissão organizadora do Simpósio *"Dos Raios Cósmicos aos Aceleradores de Partículas: 100 anos de César Lattes, 90 anos da USP e 70 anos do CERN"*, que ocorrerá no Instituto de Física da Universidade de São Paulo de 01 a 03 de julho de 2024, venho convidá-lo a ministrar uma palestra plenária durante o nosso evento sobre os resultados recentes da área de interações hadrônicas, buscando resgatar as contribuições originais de Cesar Lattes. Este será um evento comemorativo e também com discussões sobre resultados recentes em diversas áreas da Física Nuclear e de Partículas. Será uma honra poder contar com sua valiosa contribuição para este evento.



Comentários Iniciais:

Departamento de Física Nuclear

+55 11 3091-6967 / secdfn@if.usp.br



São Paulo, 03 de junho de 2024.

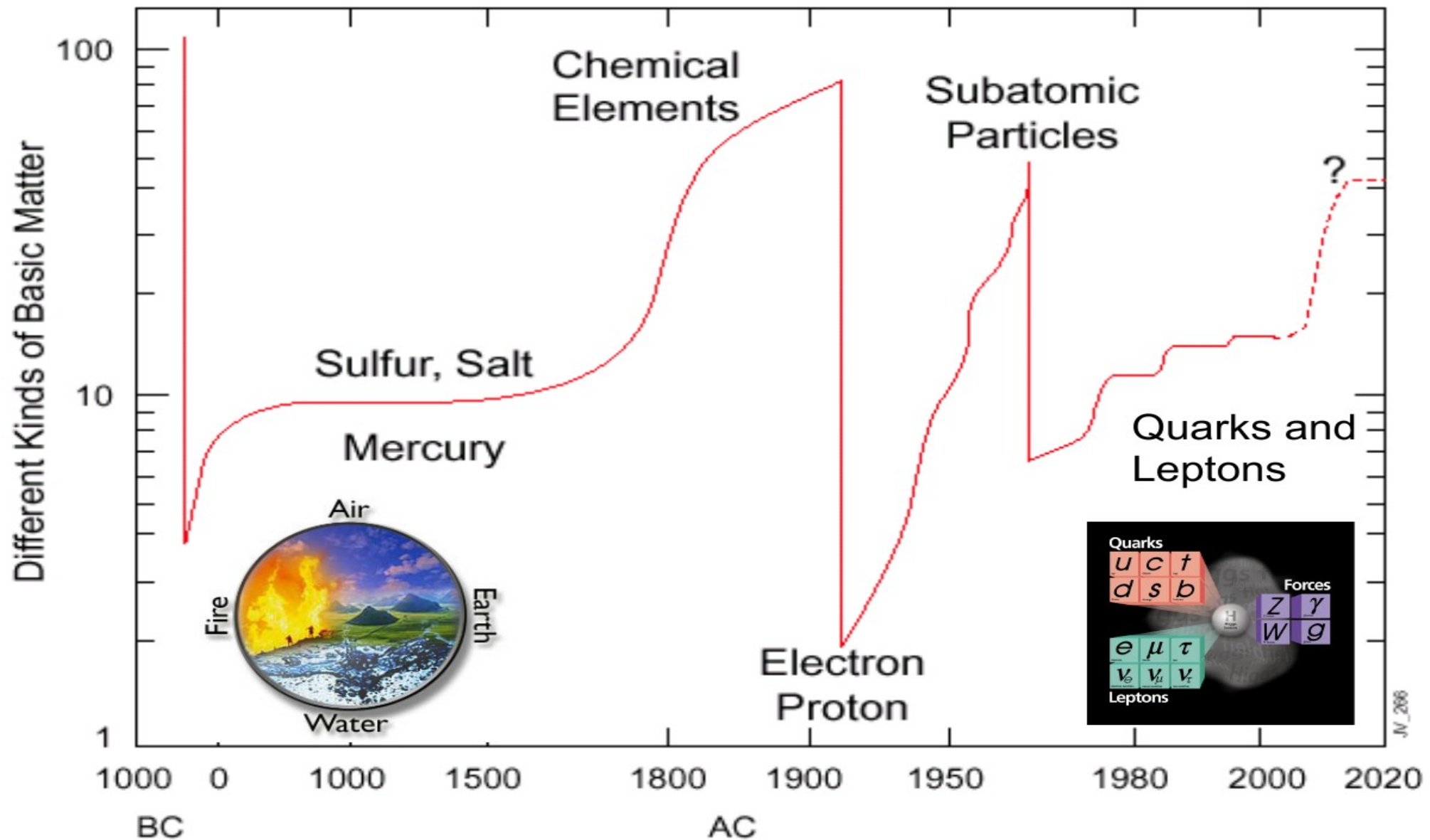
Prezado Prof. Dr. Victor Paulo Barros Gonçalves,

Em nome da comissão organizadora do Simpósio *"Dos Raios Cósmicos aos Aceleradores de Partículas: 100 anos de César Lattes, 90 anos da USP e 70 anos do CERN"*, que ocorrerá no Instituto de Física da Universidade de São Paulo de 01 a 03 de julho de 2024, venho convidá-lo a ministrar uma palestra plenária durante o nosso evento sobre os resultados recentes da área de interações hadrônicas, buscando resgatar as contribuições originais de Cesar Lattes. Este será um evento comemorativo e também com discussões sobre resultados recentes em diversas áreas da Física Nuclear e de Partículas. Será uma honra poder contar com sua valiosa contribuição para este evento.

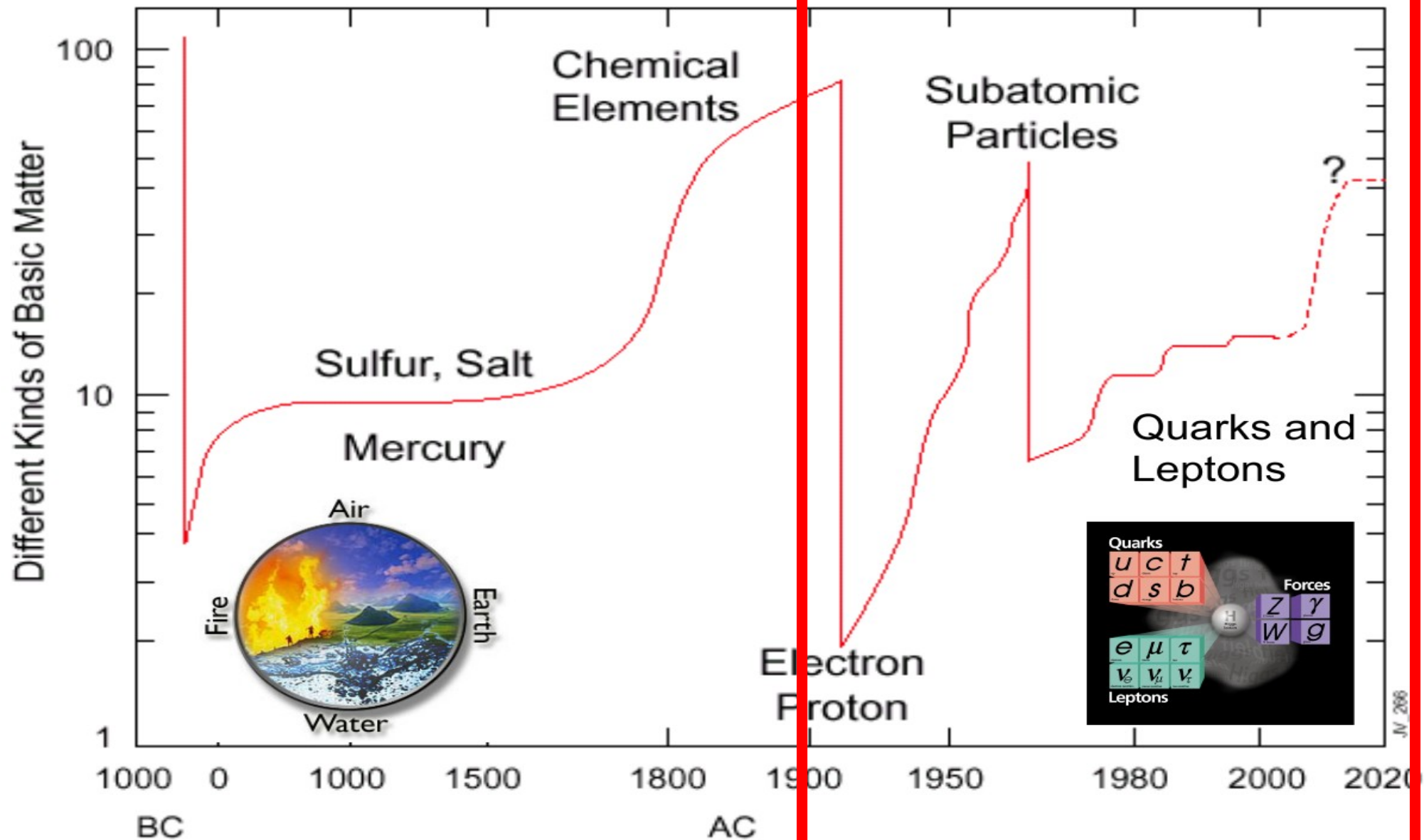
O que irei
apresentar?



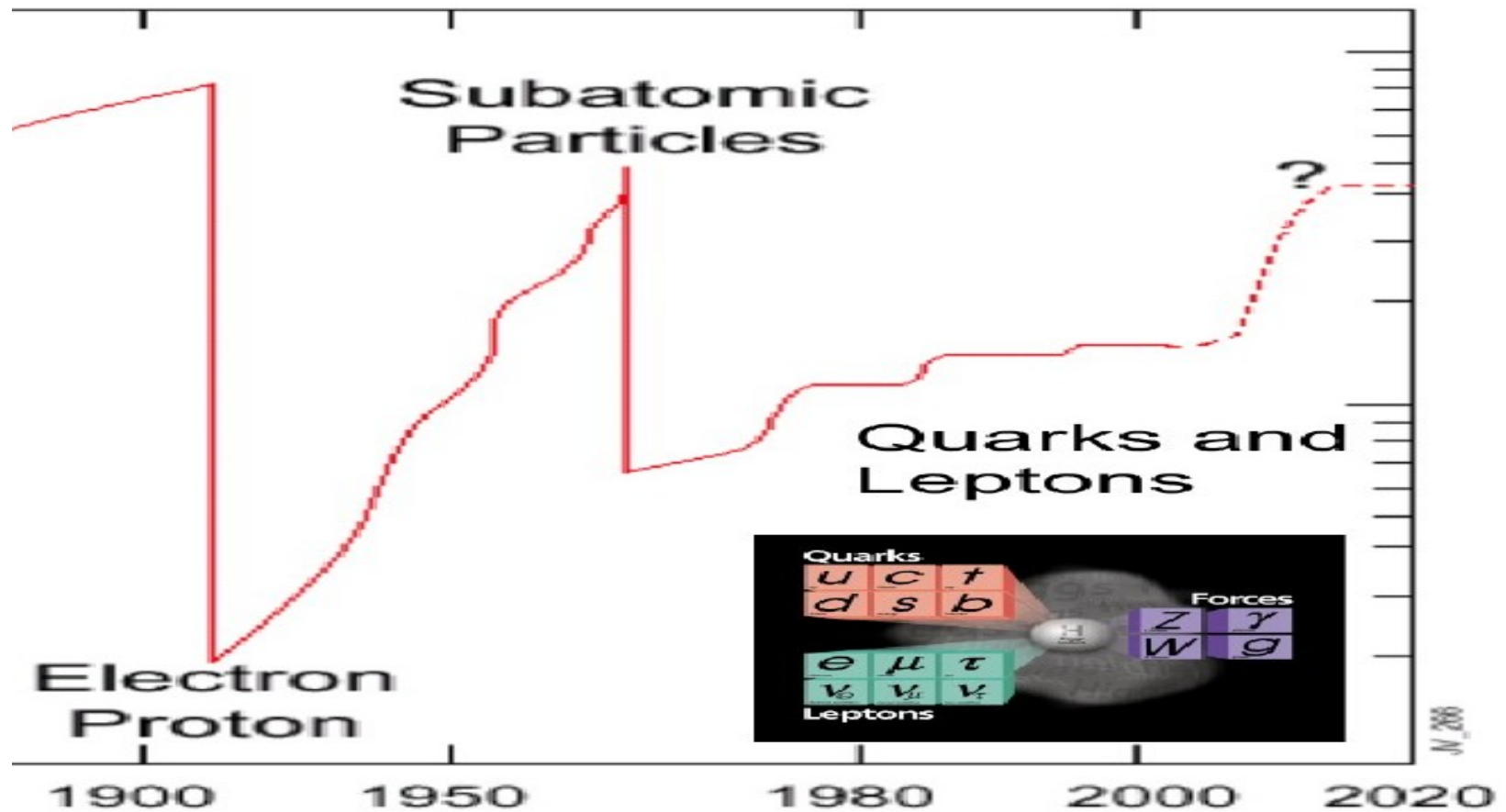
Constituintes da matéria ao longo da história



Constituintes da matéria ao longo da história



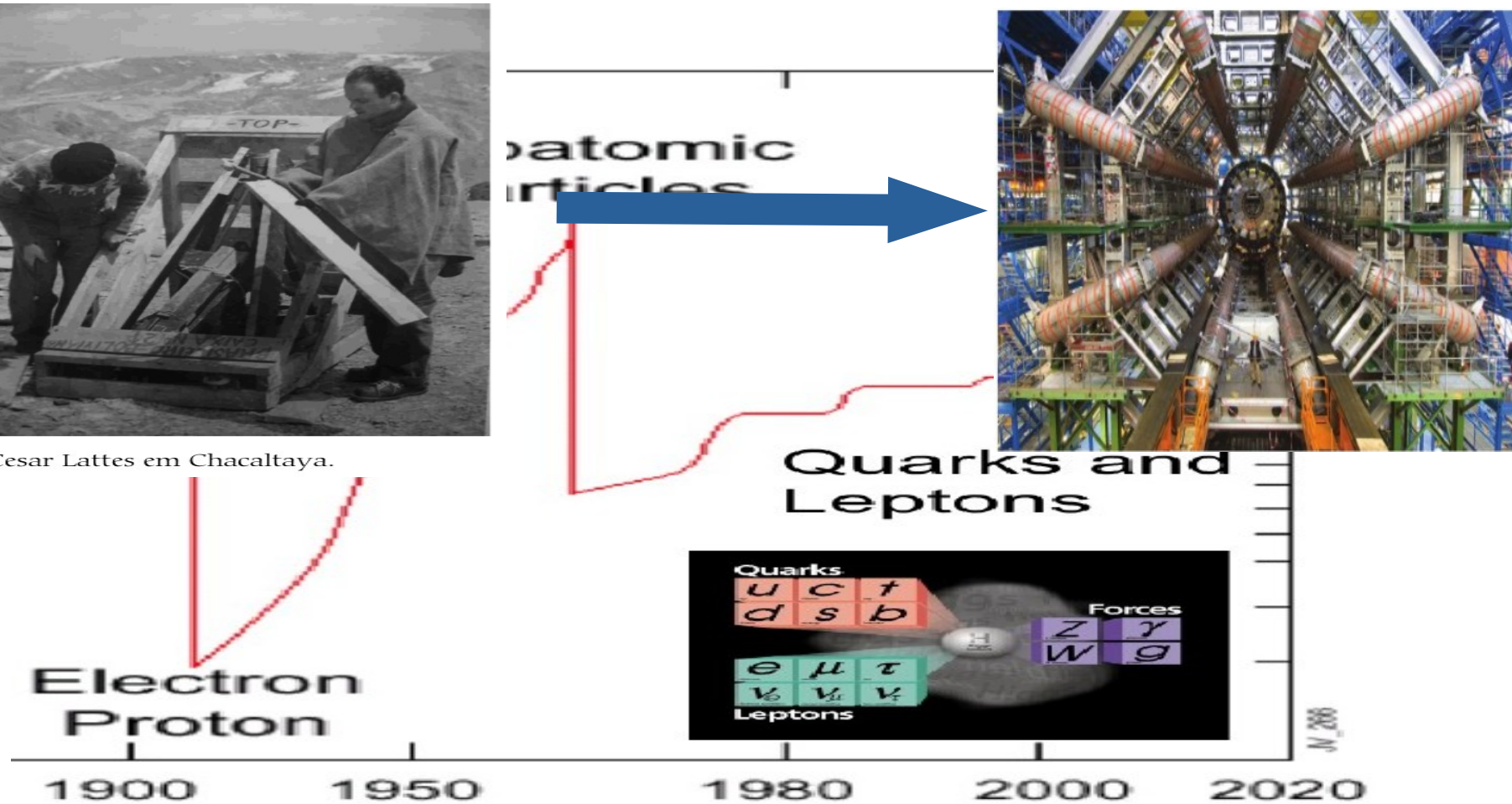
Constituintes da matéria ao longo da história



Constituintes da matéria ao longo da história



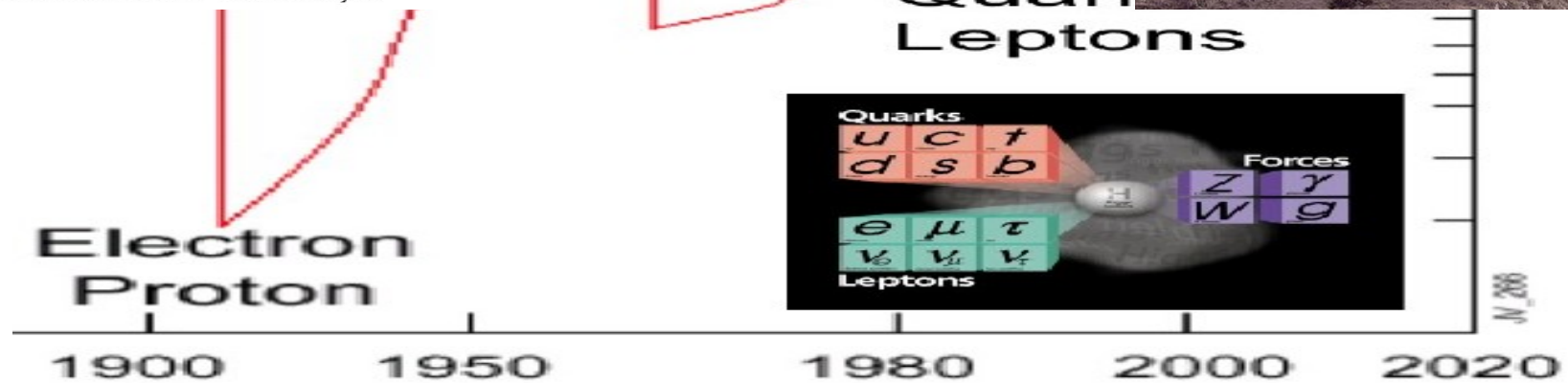
Cesar Lattes em Chacaltaya.



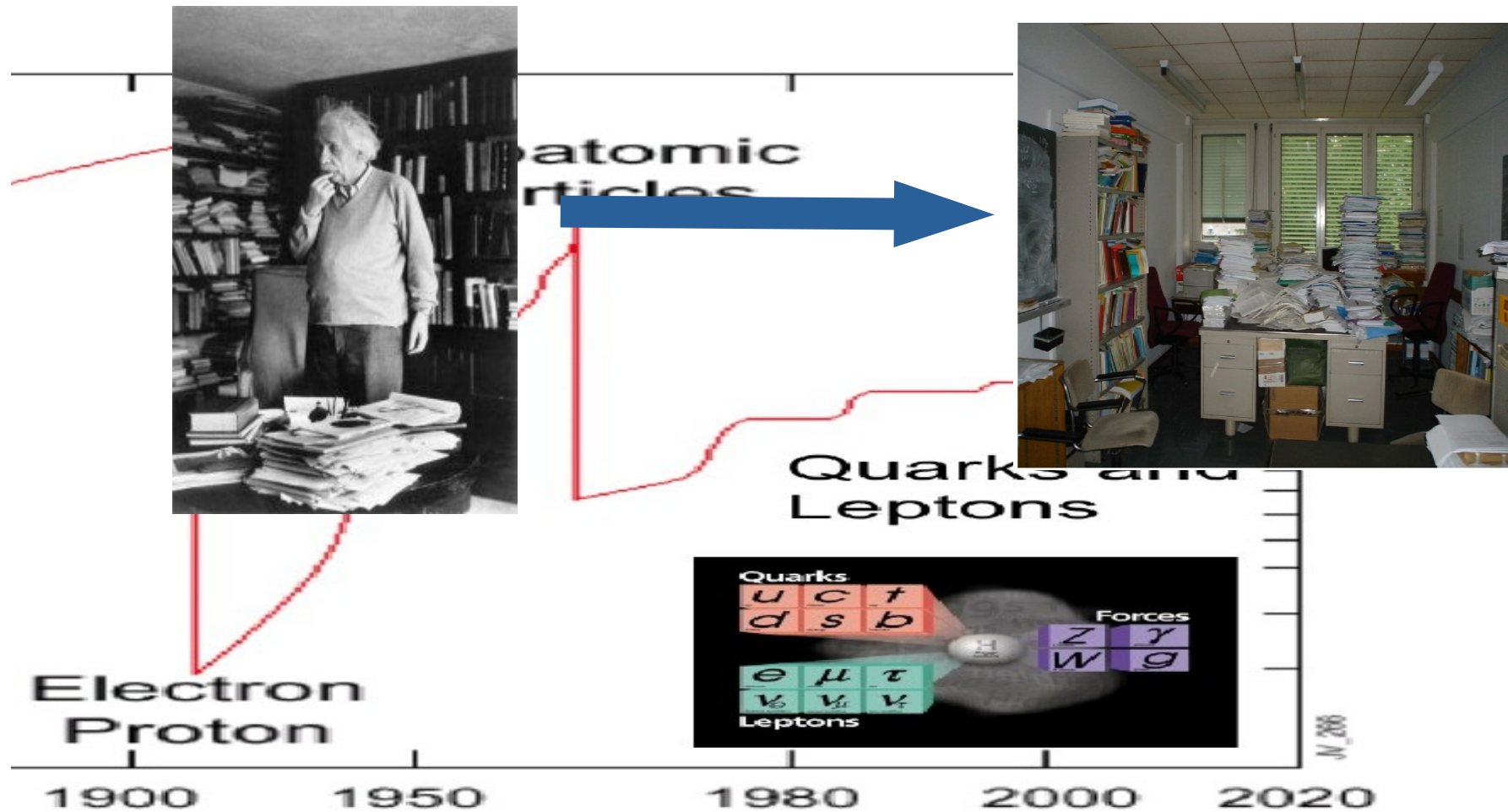
Constituintes da matéria ao longo da história



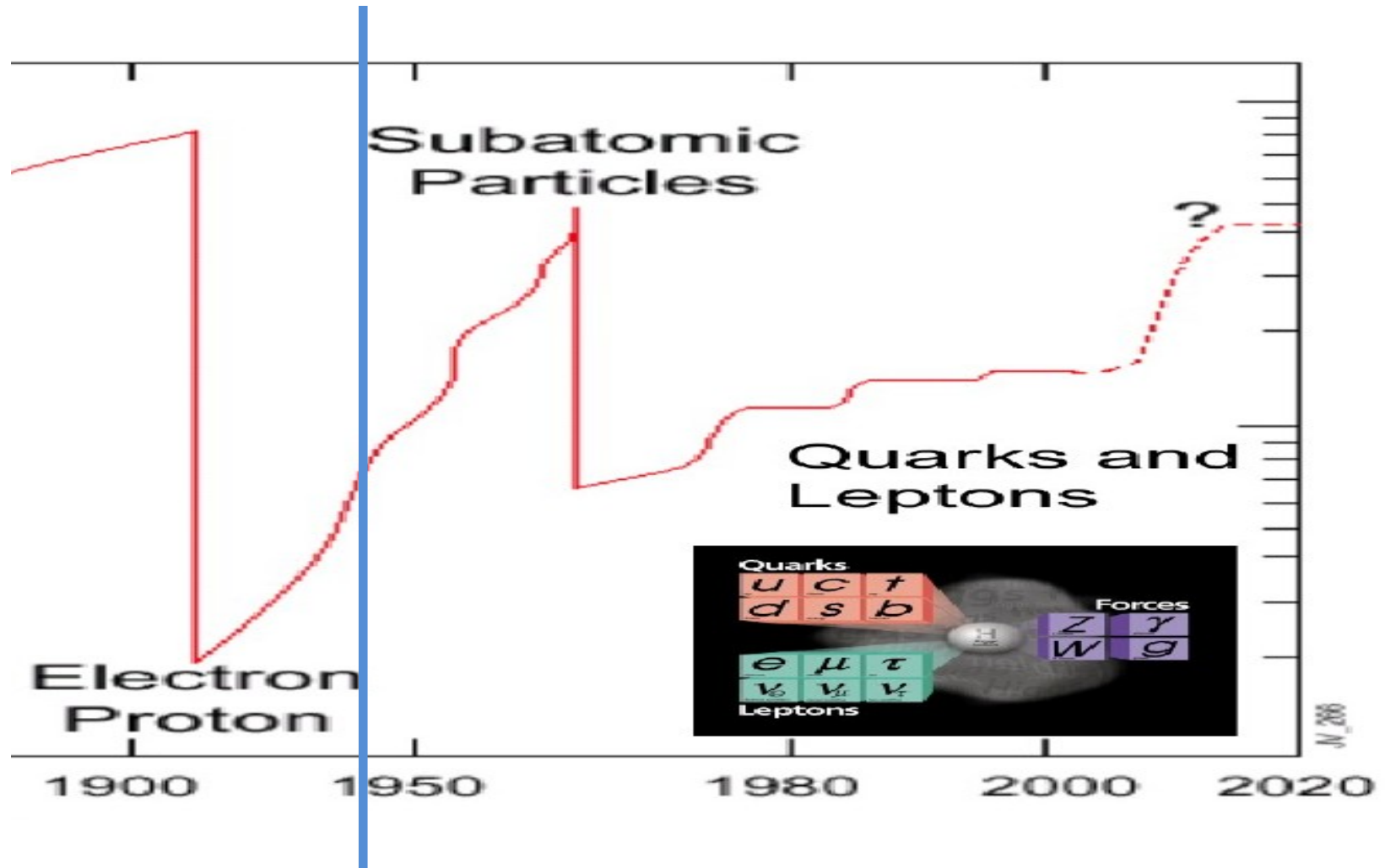
Cesar Lattes em Chacaltaya.



Constituintes da matéria ao longo da história

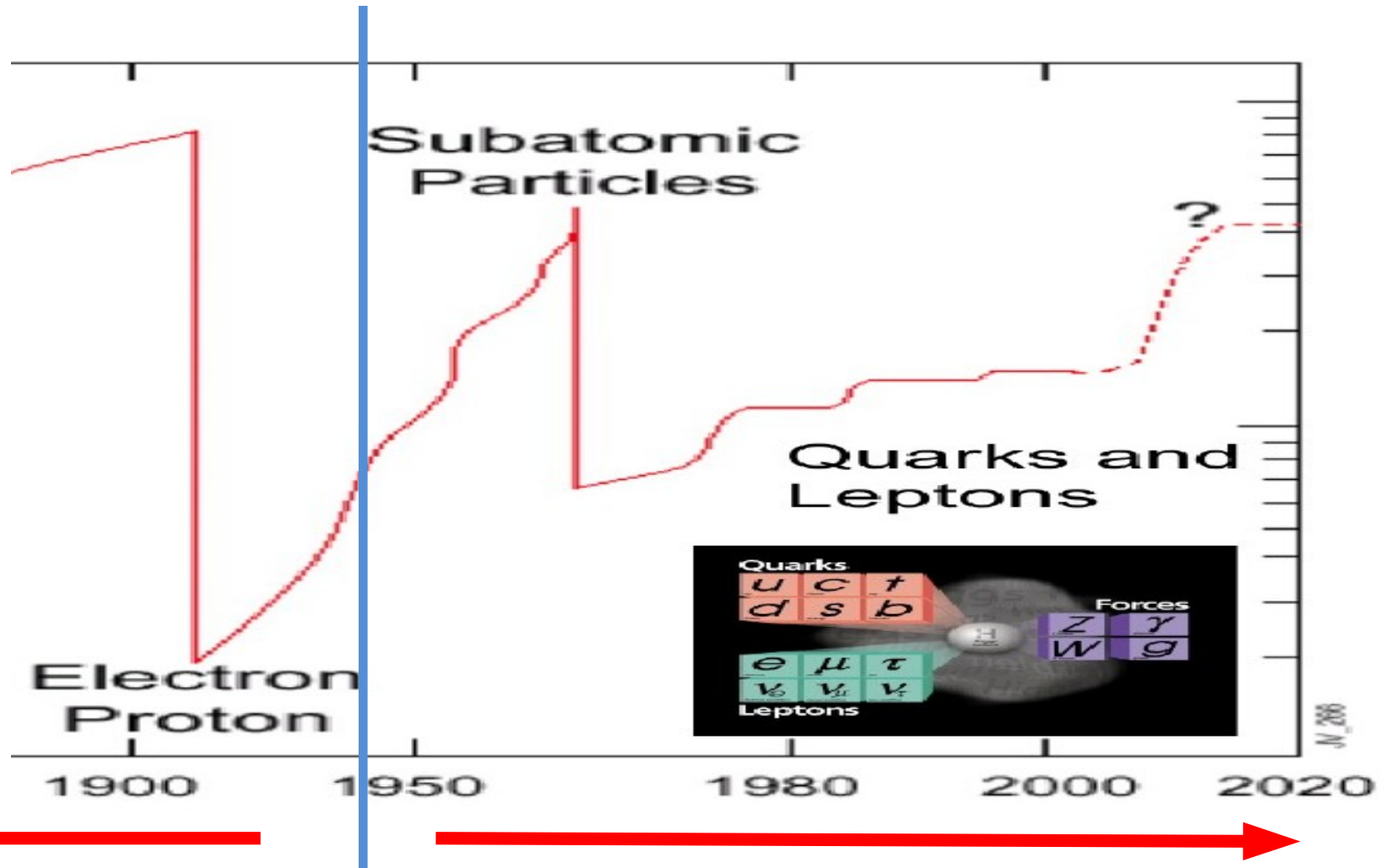


Constituintes da matéria ao longo da história



César
Lattes

Plano do Seminário:



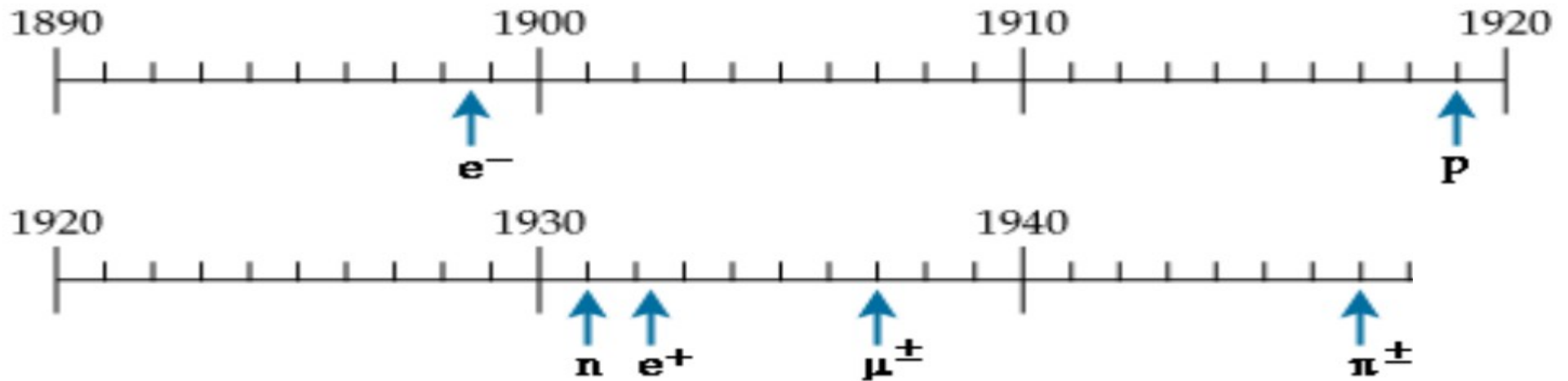
FÍSICA
HADRÔNICA a.C.

César
Lattes

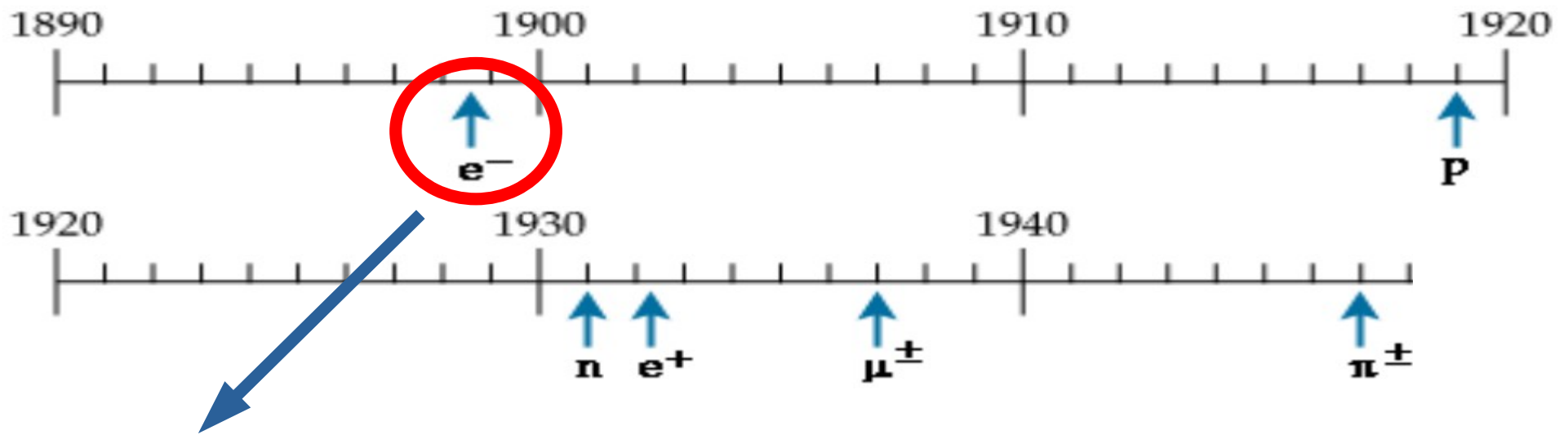
FÍSICA HADRÔNICA d.C.

Física hadrônica na
era a.C.

Constituintes da matéria na era a.c.



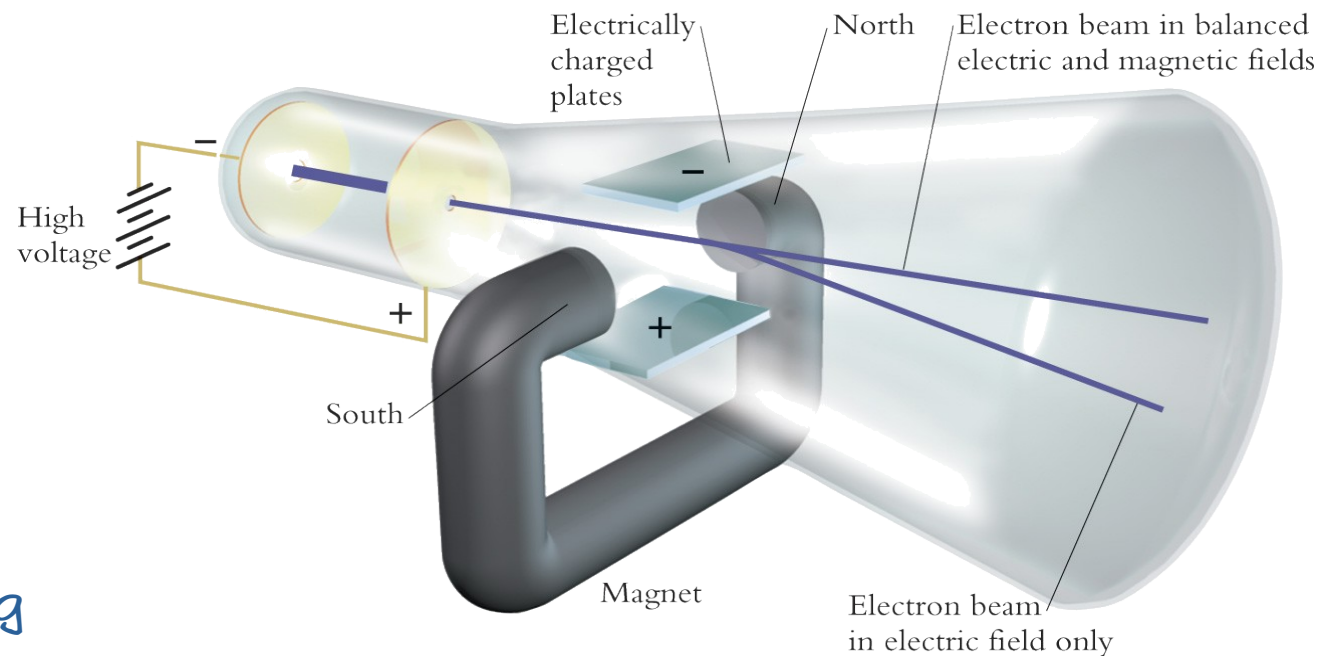
Constituintes da matéria na era a.c.



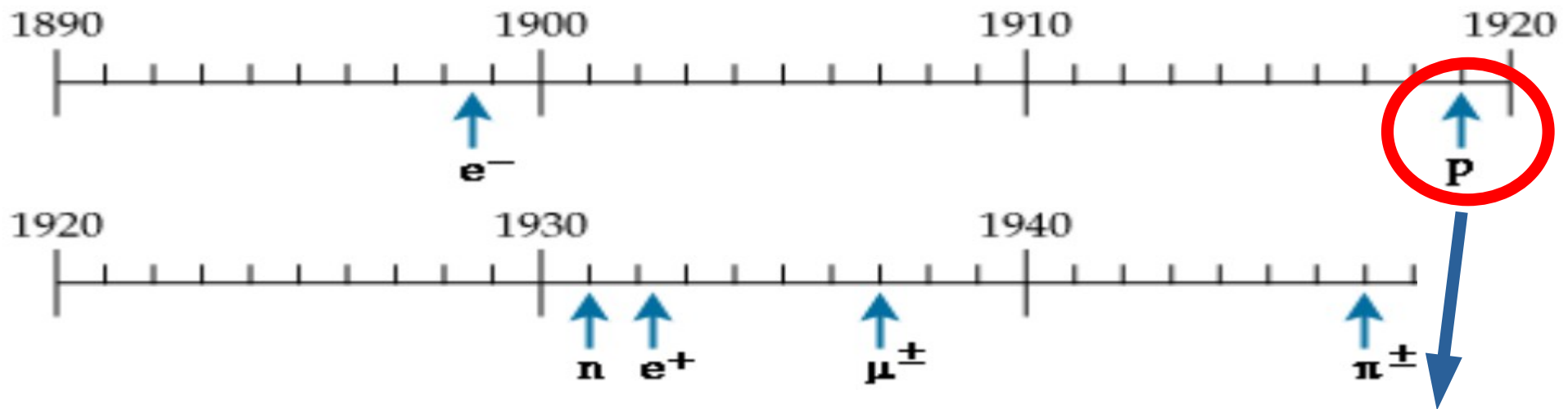
J. J. Thomson:



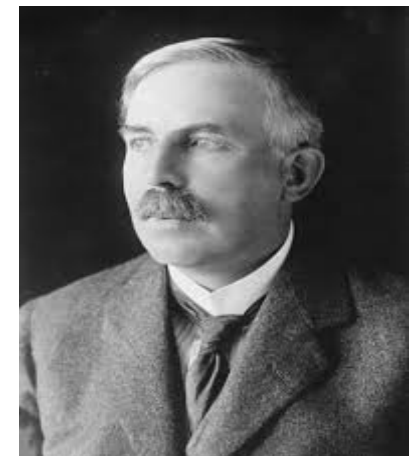
$$e/m = -1.76 \times 10^{11} \text{ C/Kg}$$



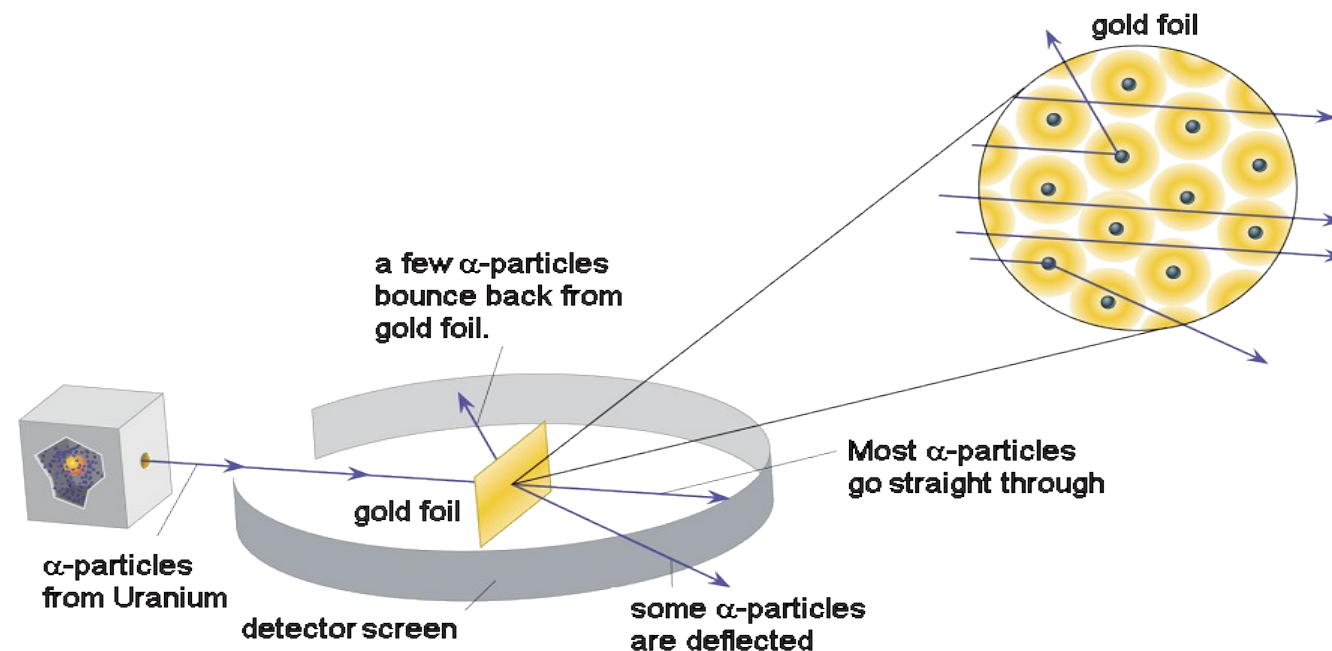
Constituintes da matéria na era a.c.



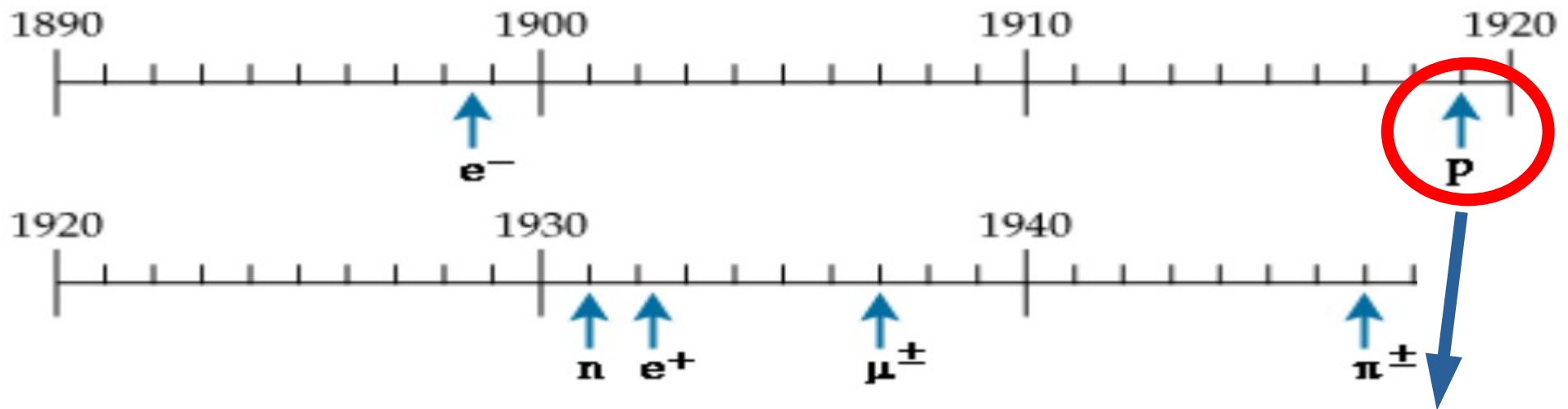
Ernest Rutherford:



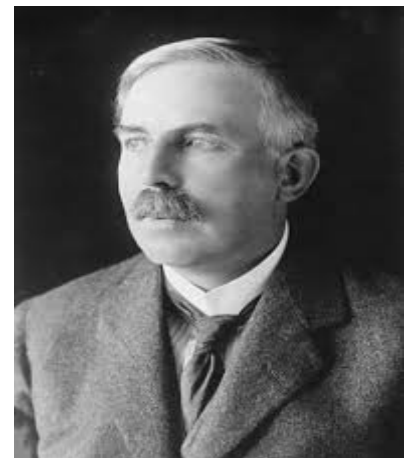
Núcleo atômico



Constituintes da matéria na era a.c.



Ernest Rutherford:

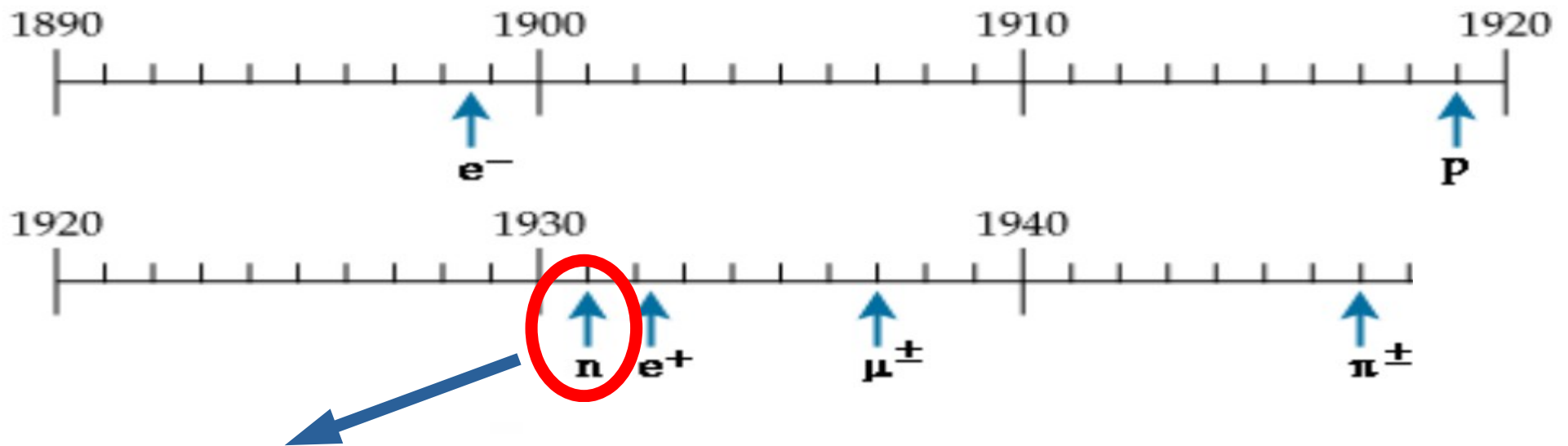


Como pode um núcleo de um átomo pesado, composto por muitos prótons de carga positiva, ser estável?

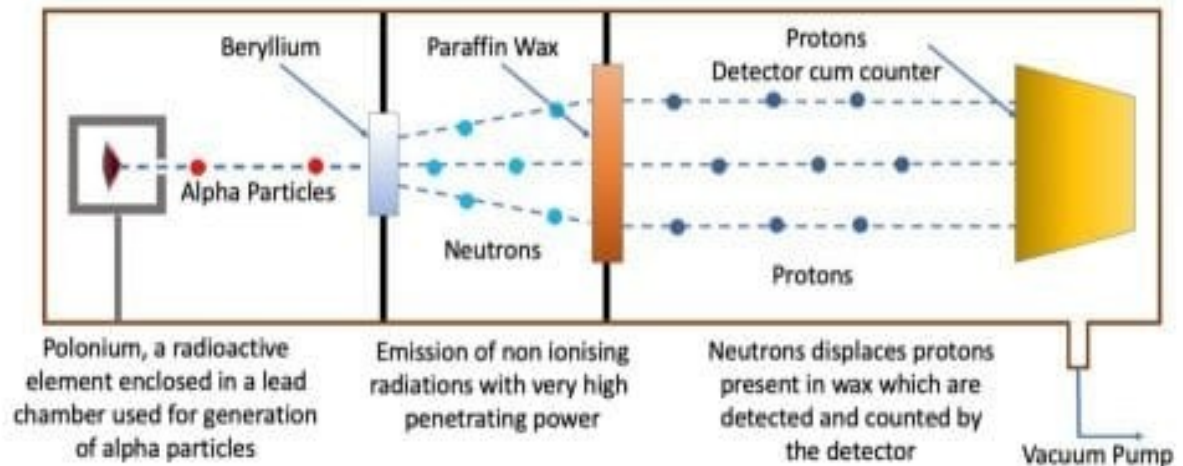


Núcleo atômico

Constituintes da matéria na era a.C.

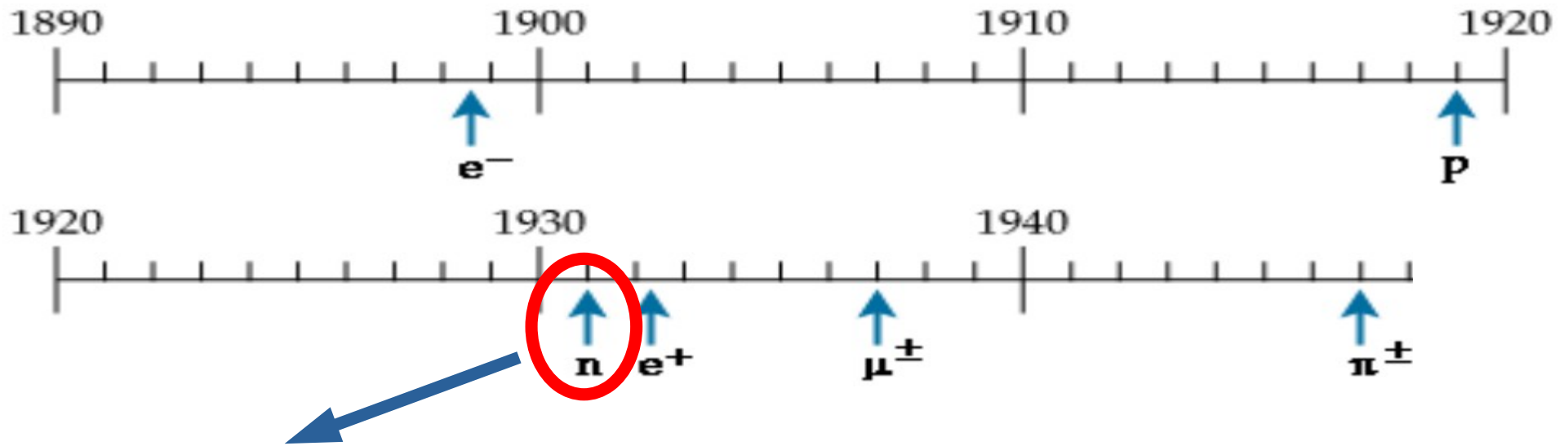


James Chadwick:

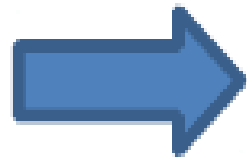


Neutron como um dos constituintes do núcleo

Constituintes da matéria na era a.c.



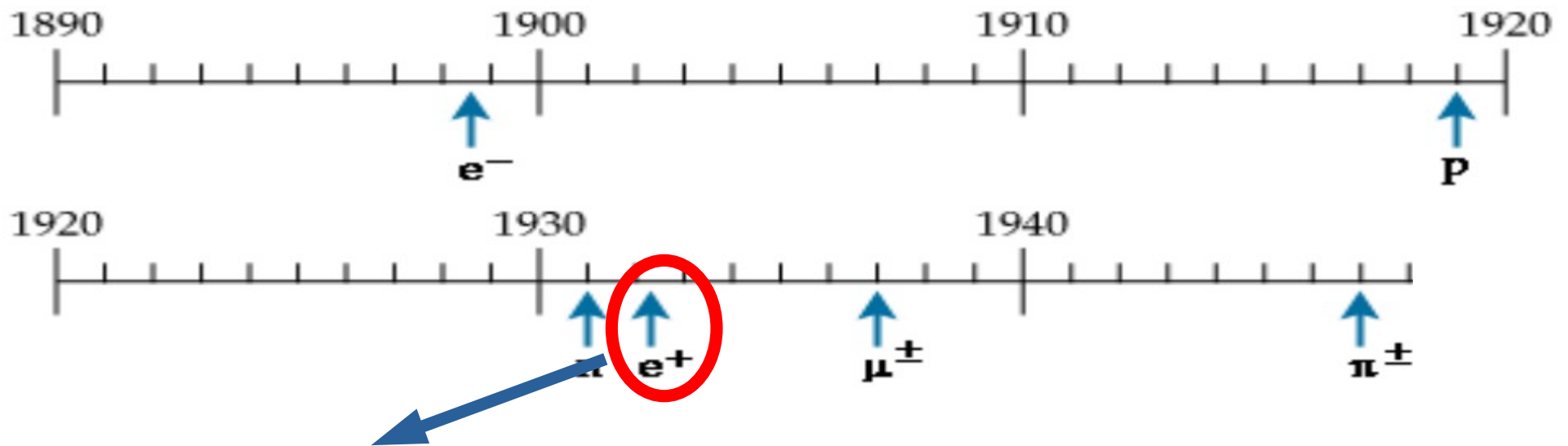
James Chadwick:



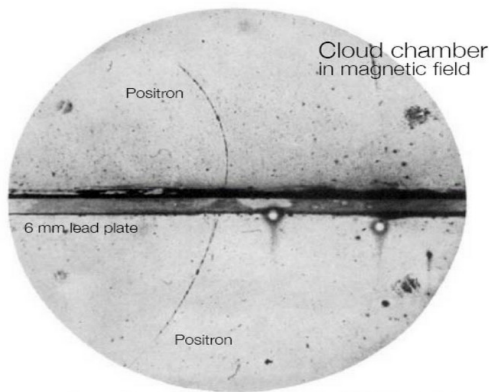
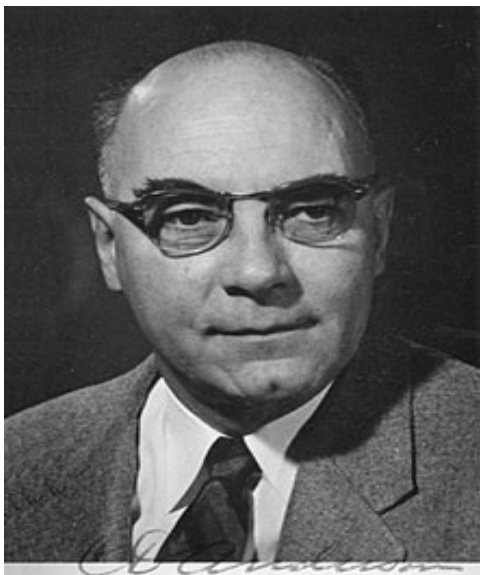
Como pode um núcleo de um átomo pesado, composto por muitos prótons de carga positiva e neutrons sem carga elétrica, ser estável?

Neutron como um dos
constituintes do núcleo

Constituintes da matéria na era a.c.



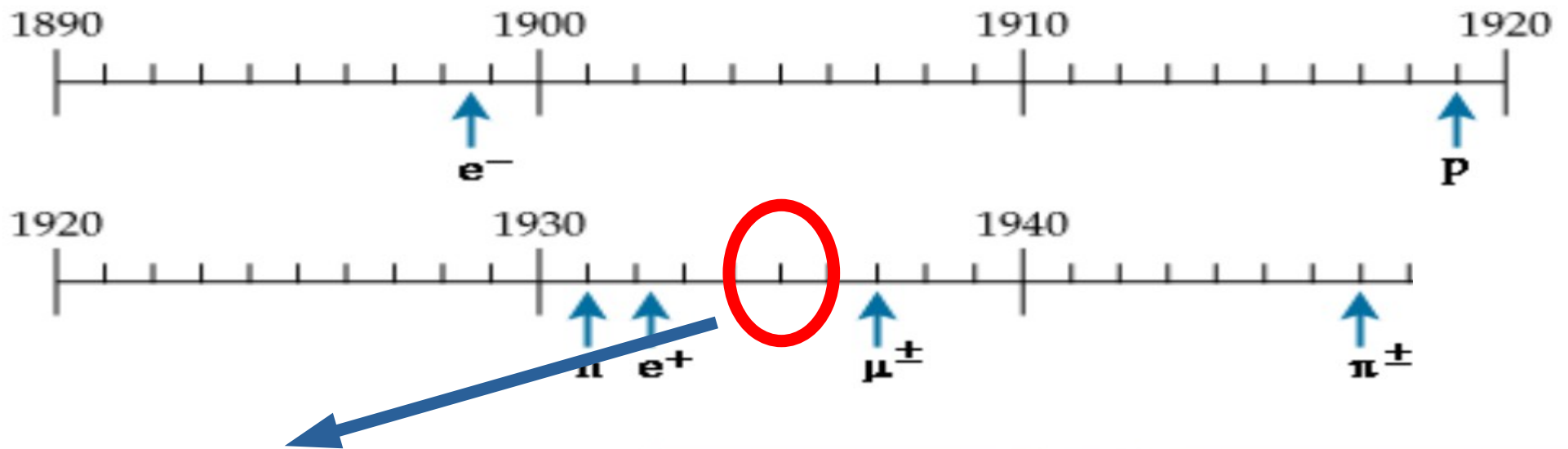
Carl Anderson (1932):



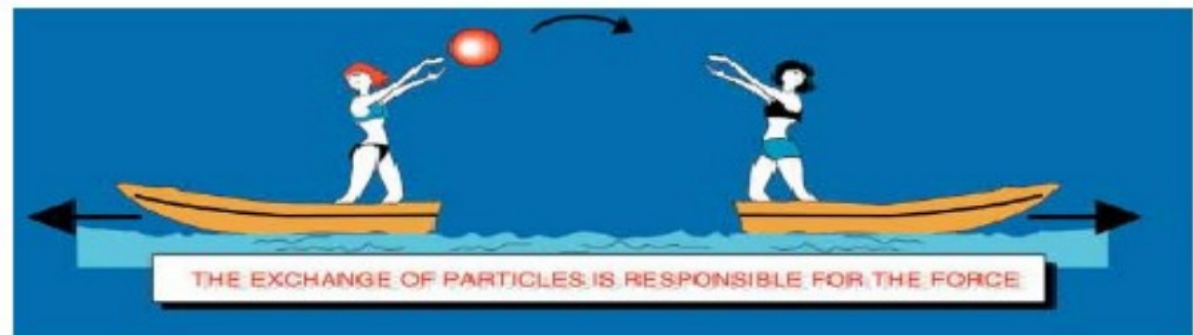
Estudo dos traços deixados pelos raios cósmicos em uma câmara de nuvens.

Prova da existência de anti - partículas, postuladas teoricamente por Dirac em 1928.

Constituintes da matéria na era a.c.

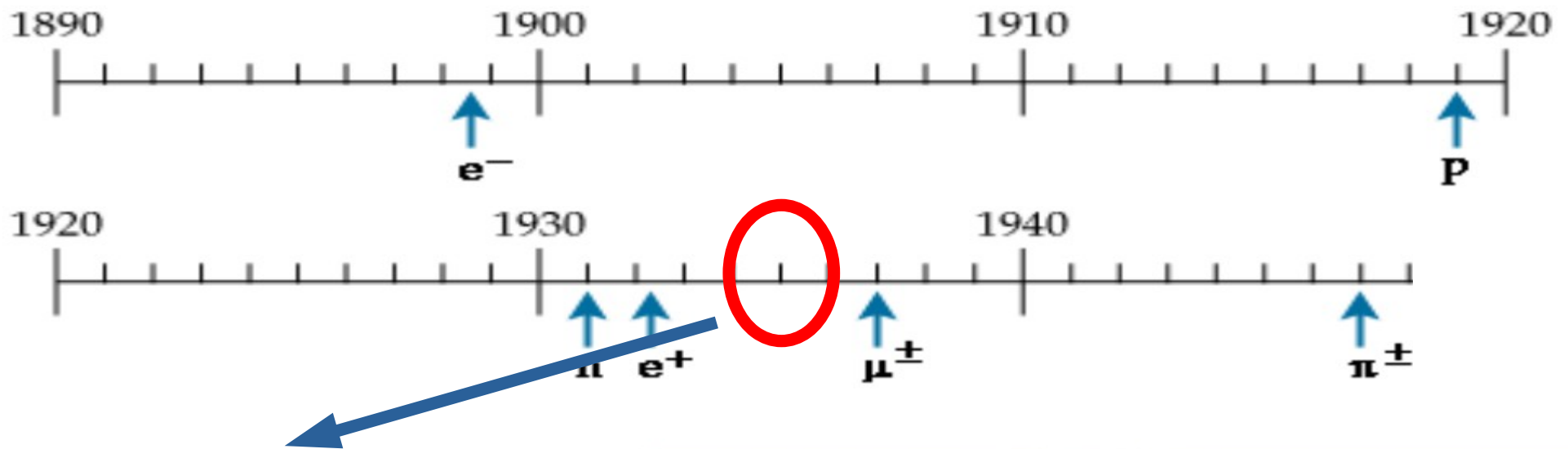


Hiddeki Yukawa (1935):

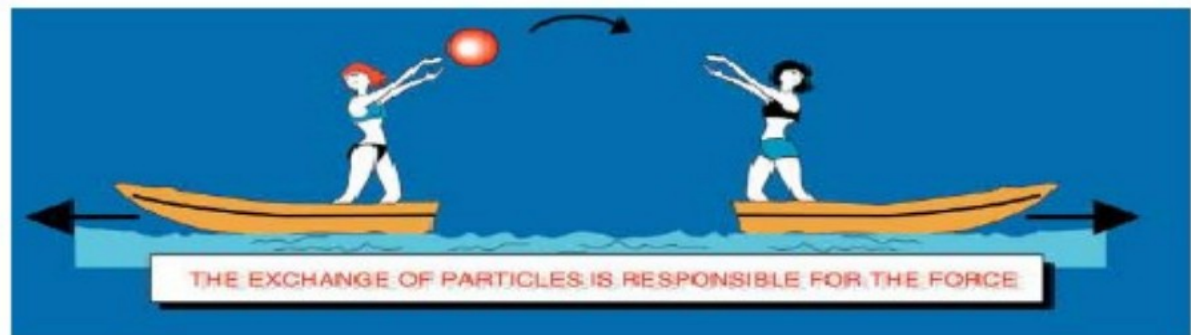


$$\text{Range of a Force} \propto \frac{1}{\text{mass of exchange particle}}$$

Constituintes da matéria na era a.c.



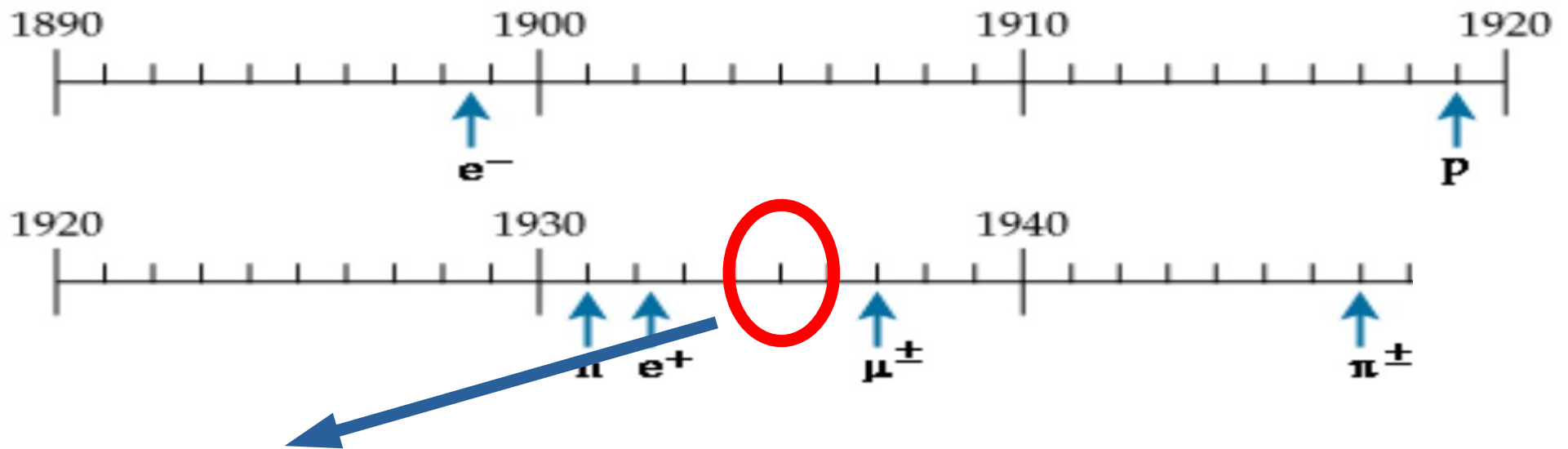
Hiddeki Yukawa (1935):



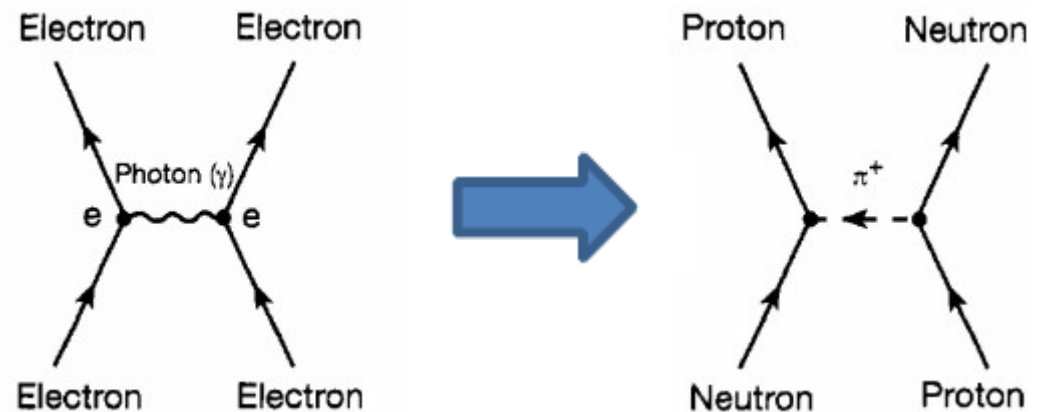
Postula que deve existir uma partícula com massa entre 100 - 200 MeV intermediária entre a massa do elétron e do próton.

Méson - da palavra grega Mesos (médio).

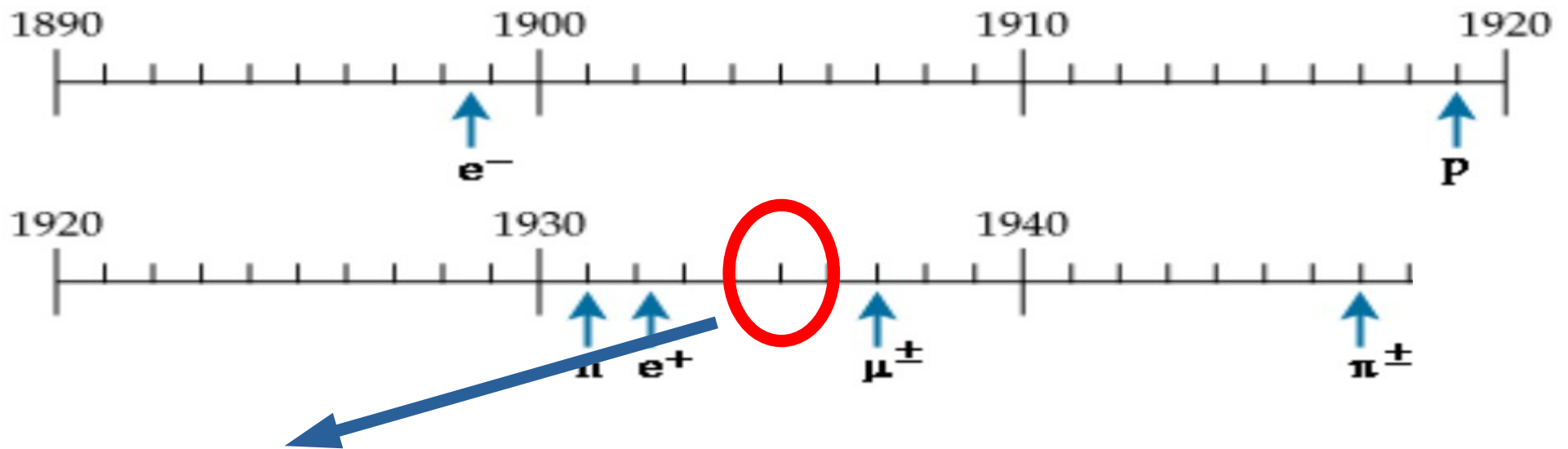
Constituintes da matéria na era a.c.



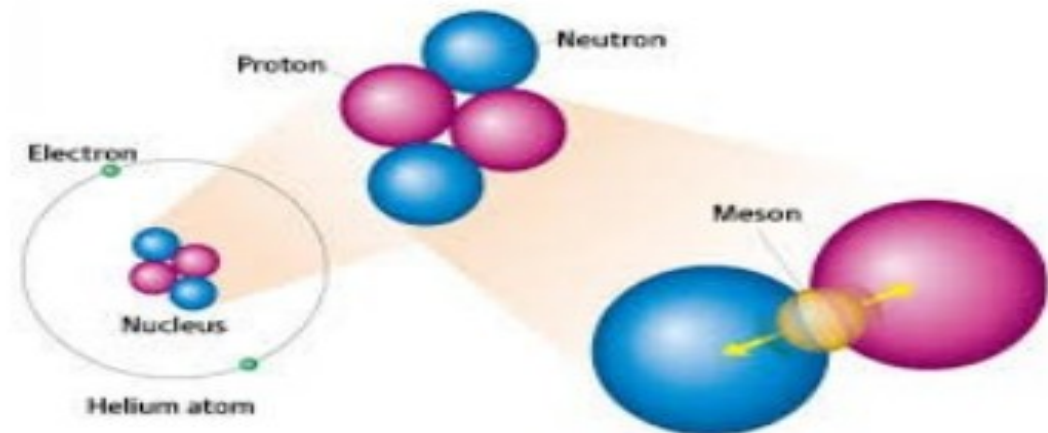
Hiddeki Yukawa (1935):



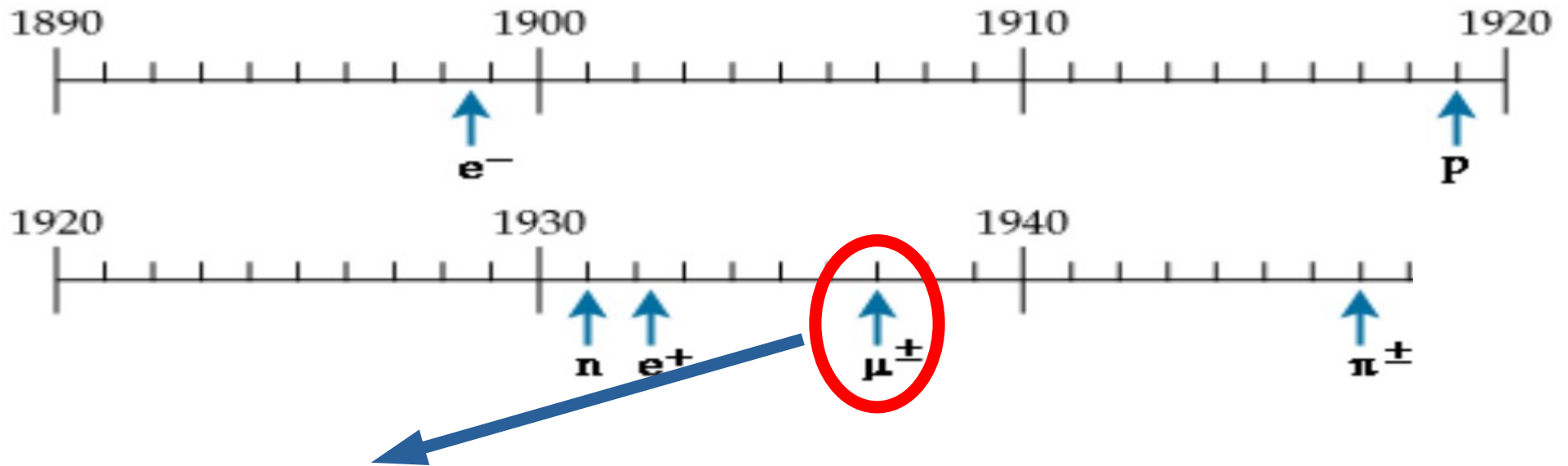
Constituintes da matéria na era a.c.



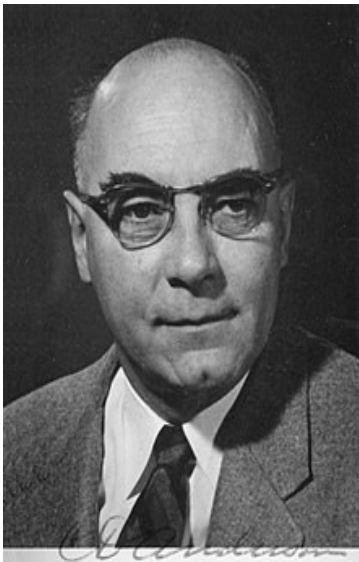
Hiddeki Yukawa (1935):



Constituintes da matéria na era a.c.

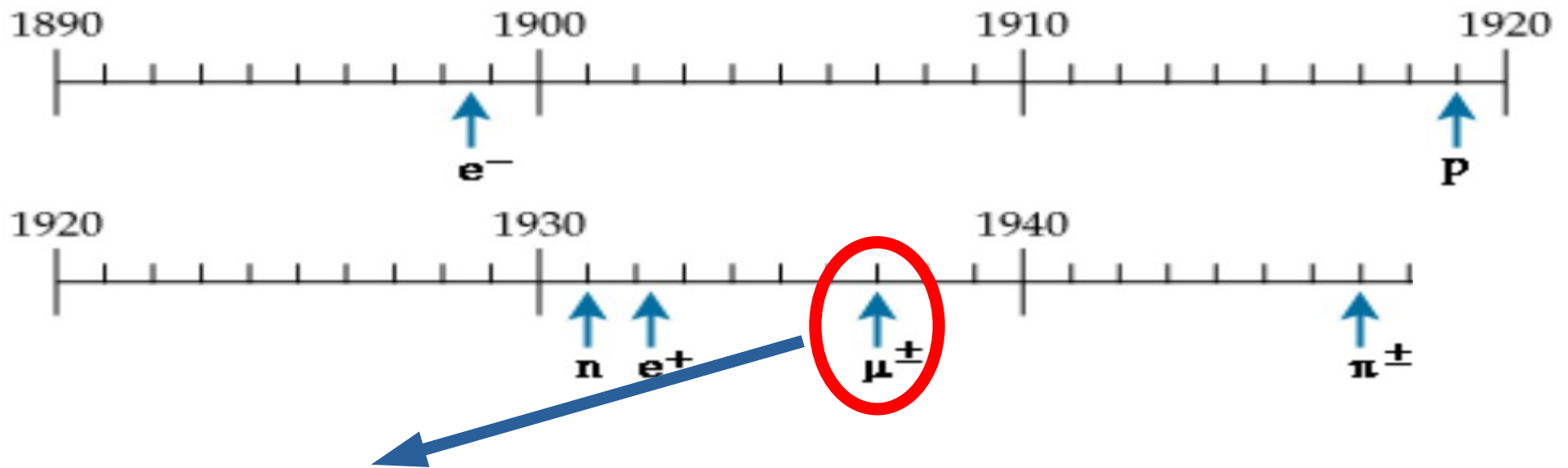


Anderson / Neddermeyer (1936):

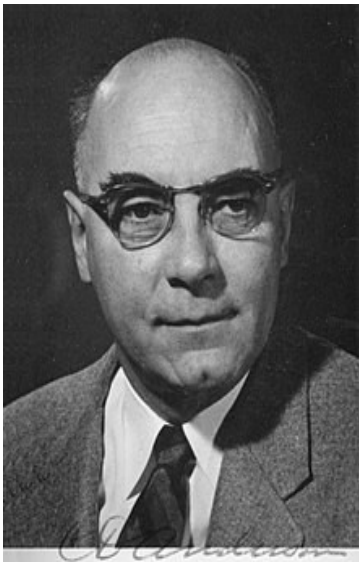


Observam no estudo de raios
cósmicos uma partícula de massa
207 vez a massa do elétron!

Constituintes da matéria na era a.C.



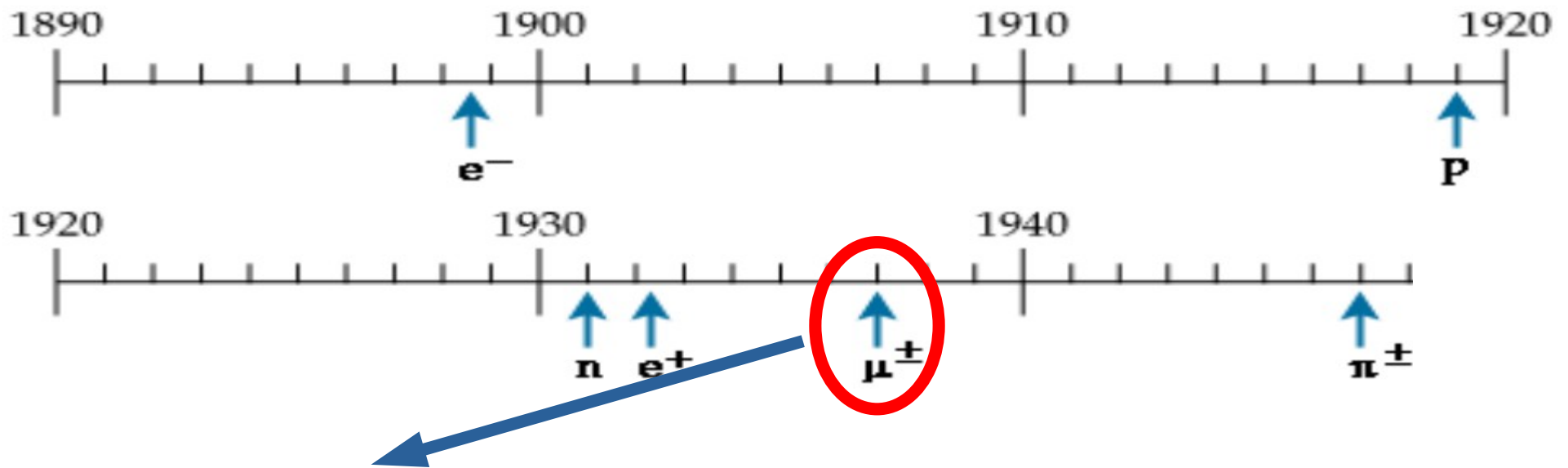
Anderson / Neddermeyer (1936):



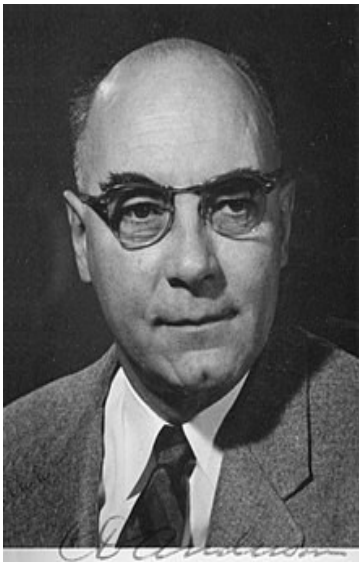
Observam no estudo de raios
cósmicos uma partícula de massa
207 vez a massa do elétron!

Méson de Yukawa?

Constituintes da matéria na era a.C.



Anderson / Neddermeyer (1936):



Observam no estudo de raios cósmicos uma partícula de massa 207 vez a massa do elétron!

Méson de Yukawa?

NÃO!

1946: Conversi / Piccioni / Pancini

Múon - Comporta-se como um elétron com maior massa.

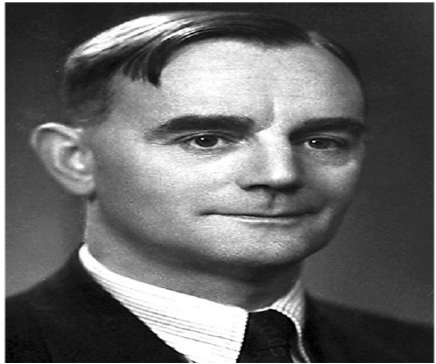
O início de uma
nova era

Um pouco sobre César Lattes ...

- Nasce em 11 de julho de 1924 na cidade de Curitiba – PR;
- Forma-se em Física em 1943, com 19 anos na USP, tendo como mestres Gleb Wataghin e Giuseppe Occhialini. Em particular, foi o único aluno da disciplina sobre Raios – X, ministrada por Occhialini;
- Logo depois de formado, Lattes começou a trabalhar em pesquisa com Wataghin, Mario Schenberg e Walter Schütze;
- Durante o ano de 1945, Lattes trabalha na recuperação de uma câmara de nuvens comandada por contadores Geiger deixada por Occhialini quando este se transfere para se unir ao grupo de Cecil Powell em Bristol;
- Os resultados obtidos usando esta câmara são enviados a Bristol, e recebe como resposta fotografias mostrando trajetórias de prótons e partículas alfa obtidas com uma nova emulsão;
- Lattes decide pela física experimental e pede a Occhialini para obterem fomento para financiar a sua ida para Bristol;
- Lattes chega a Bristol no início de 1946, com 22 anos de idade.

Lattes em Bristol

Cecil F. Powell



Foco no uso de emulsões nucleares para o estudo de física nuclear e de raios cósmicos.



O grupo de Bristol: 1-Sra. I.Powell; 2-Sra. Andrews; 3-Sra. Roberts; 4-Sra. Ashton; 5- H.Heitler; 6-Sr. Gaffiker; 7-E.Samuel; 8-Marieta Kurz; 9-C.F.Powell; 10-Owen Locke; 11-D.T.King; 12-Cesar Lattes; 13-Ugo Camerini; 14-Connie Dillsworth; 15-C.Bannister; 16-H.Muirhead; 17-Y.Goldschmit-Clérmont; 18-Giuseppe Occhialini; 19-D.Ritson

Lattes em Bristol

Primeiros trabalhos:

- Medição do nível de decaimento de partículas alfa do samário com as novas emulsões;
- Calibração das emulsões para obter a relação alcance - energia.



Neste processo propõe a adição de bórax na composição de emulsões para aumentar o tempo de fixação da imagem na chapa e pede a Occhialini para que as expusesse durante as férias nos Perineus (1946).

- A revelação destas chapas mostra evidências de partículas capturadas por núcleos (dois eventos!) → Trabalho publicado na edição de 24 de maio de 1947 na Nature;
- Redefinição do foco do grupo de Bristol nos estudos de raios cósmicos usando estas emulsões.

Lattes & o méson de Yukawa

Eventos duplo - méson:

- Caracterizados por traço grosso e com a emergência em seu final de um segundo "méson" com cerca de 600 microns de alcance.
- Lattes percebeu o alcance das novas emulsões e de sua exposição em grande altitude.
- Propõe à Powell uma expedição para o monte Chacaltaya (5300 m), localizado a 20 minutos de La Paz/Bolívia.

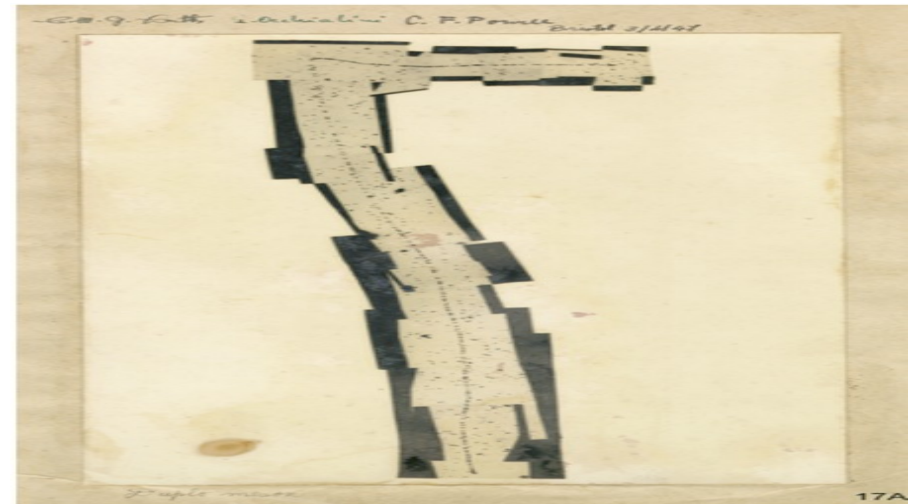


Figura 4 - Traços de duas partículas eletricamente carregadas



Lattes & o méson de Yukawa

- Lattes expõe por um mês as emulsões em Chacaltaya;
- No retorno a Bristol encontra 31 (!) trajetórias compatíveis com eventos do tipo duplo - meson;
- Resultados publicados na Nature (1947) e no Proceedings of the Physical Society of London (1948).



Figura 4 - Traços de duas partículas eletricamente carregadas

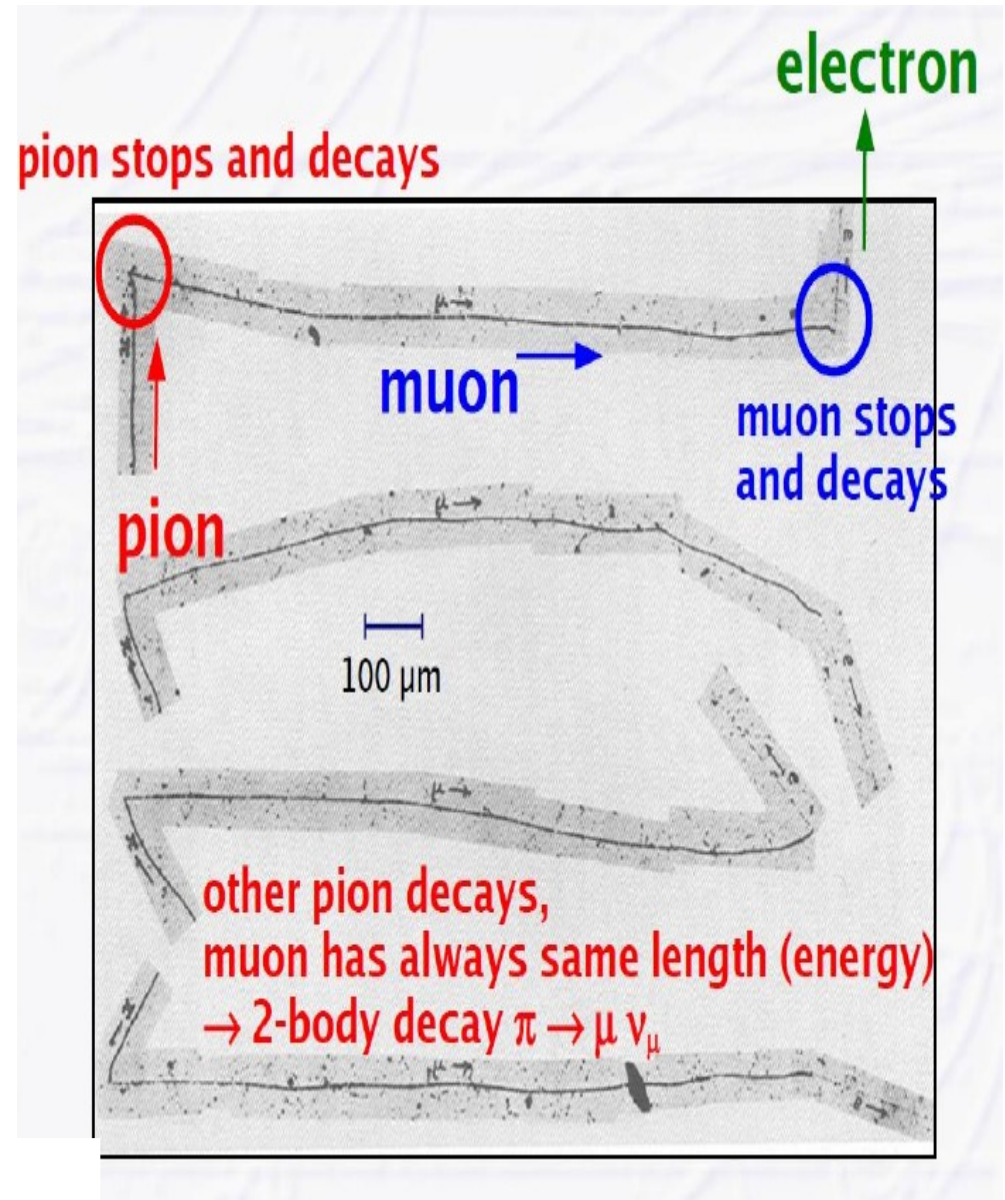


Figura 3 - Cesar Lattes em Chacaltaya

Lattes & o méson de Yukawa

- Lattes expõe por um mês as emulsões em Chacaltaya;
- No retorno a Bristol encontra 31 (!) trajetórias compatíveis com eventos do tipo duplo - meson;
- Resultados publicados na Nature (1947) e no Proceedings of the Physical Society of London (1948).
- Eventos interpretados como sendo devido ao decaimento do méson de Yukawa em um múon e um neutrino.

Powell: Méson de Yukawa $\rightarrow$ Pion



Lattes & o pión em laboratório

- Após a detecção em raios cósmicos, Lattes propõe ir para Berkeley onde havia um ciclotron que objetivava produzir o méson de Yukawa, mas não havia observado nenhum evento;
- Lattes leva consigo as novas emulsões;
- Depois de duas (!) semanas, juntamente com Eugene Gardner, detecta os primeiros píons em laboratório, através de colisões próton - neutron e próton - próton.



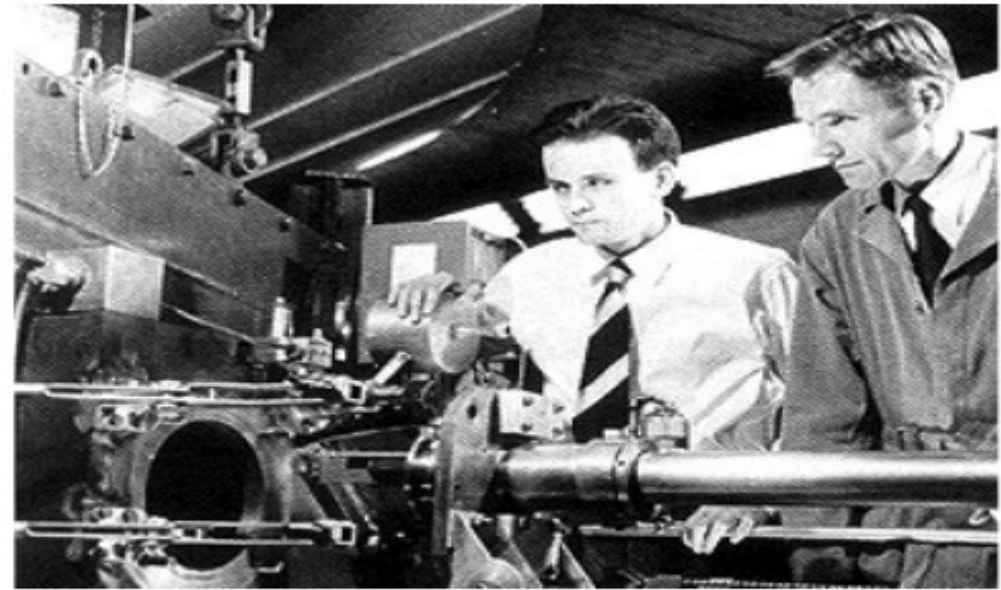
Lattes e Eugene Gardner ao lado do ciclotron de 184 polegadas em Berkeley (1947).

Lattes & o pión em laboratório

- Após a detecção em raios cósmicos, Lattes propõe ir para Berkeley onde havia um ciclotron que objetivava produzir o méson de Yukawa, mas não havia observado nenhum evento;

- Lattes leva consigo as novas emulsões;

- Depois de duas (!) semanas, juntamente com Eugene Gardner, detecta os primeiros píons em laboratório, através de colisões próton - neutron e próton - próton.



Lattes e Eugene Gardner ao lado do ciclotron de 184 polegadas em Berkeley (1947).

- Primeira detecção artificial do pión;

- Início de uma nova fase em Física experimental, no qual grandes aceleradores tornam - se a ferramenta básica de Física de Partículas!

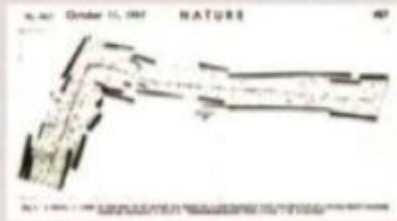
César Lattes & o Pion

Meson π

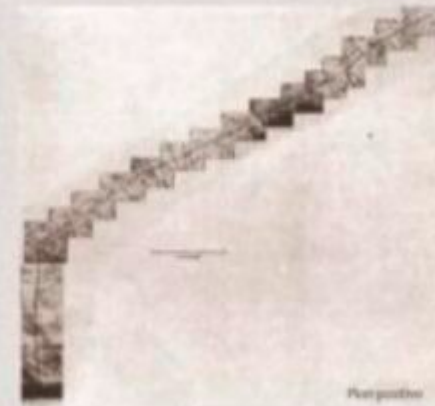
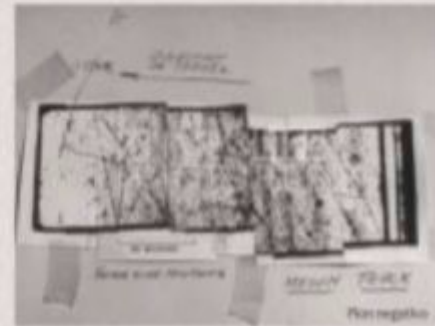
Pic du Midi - 2,800m



Chacaltaya 1947 - 5,500m

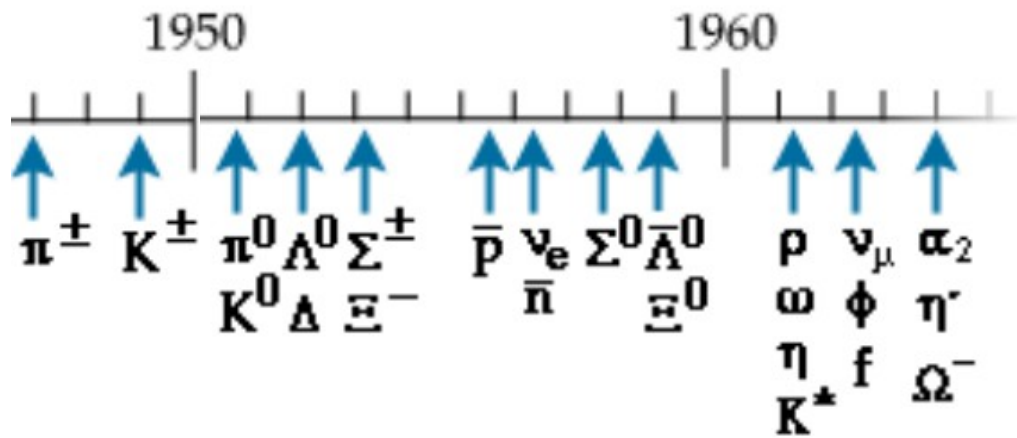


Berkeley 1948 - 380MeV α



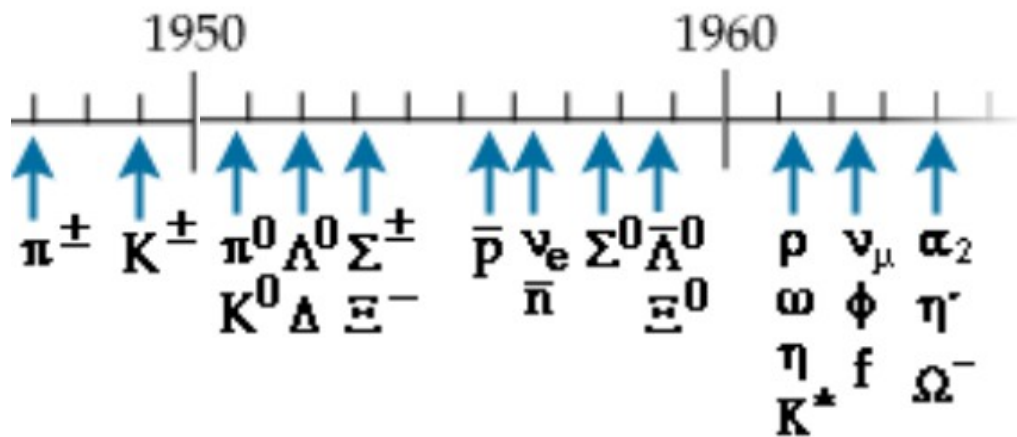
Física hadrônica na
era d.C.

Constituintes da matéria na era d.C.

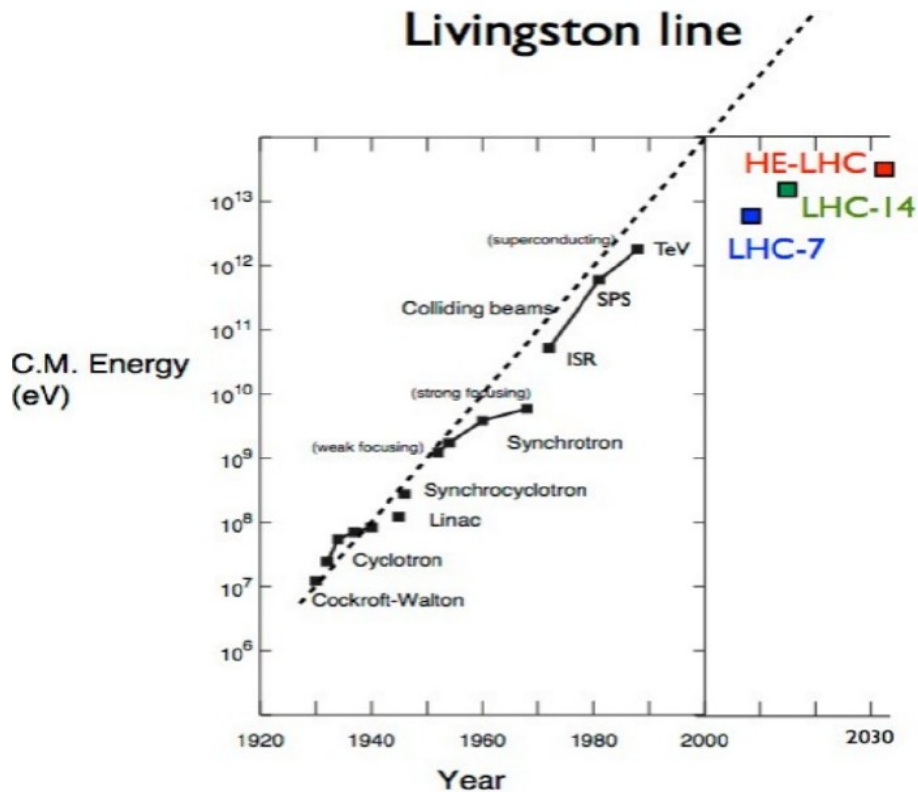


... e muitas outras!

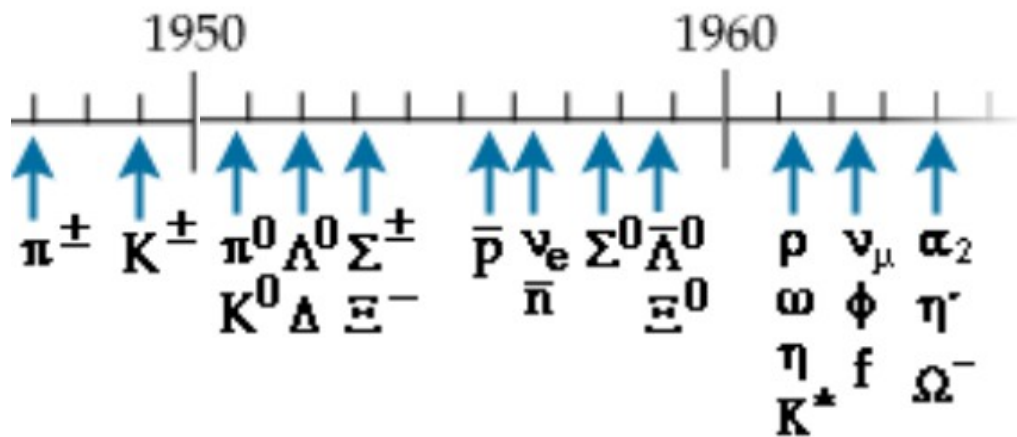
Constituintes da matéria na era d.c.



... e muitas outras!



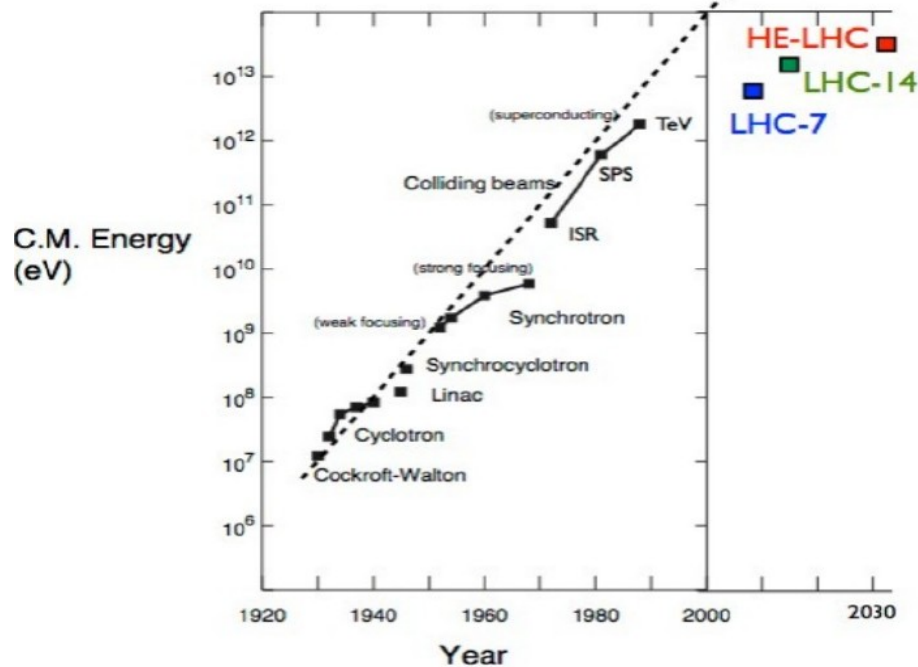
Constituintes da matéria na era d.c.



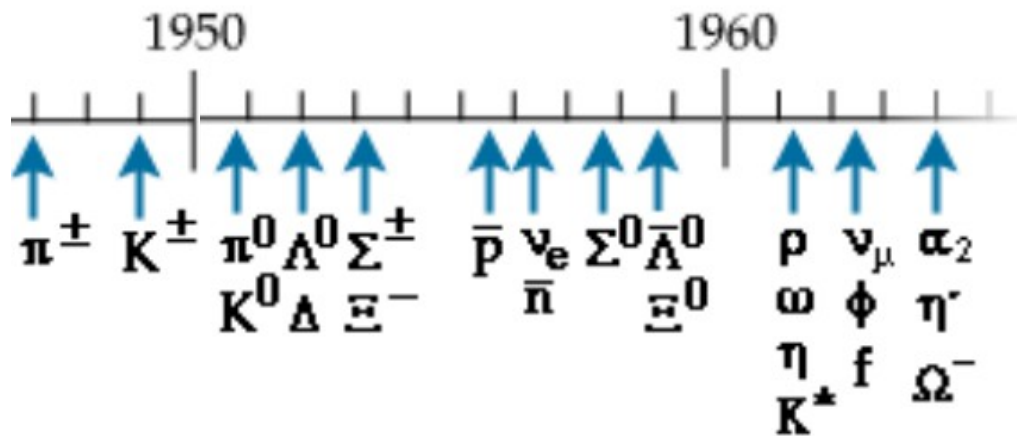
... e muitas outras!

Livingston line

Partículas fundamentais?

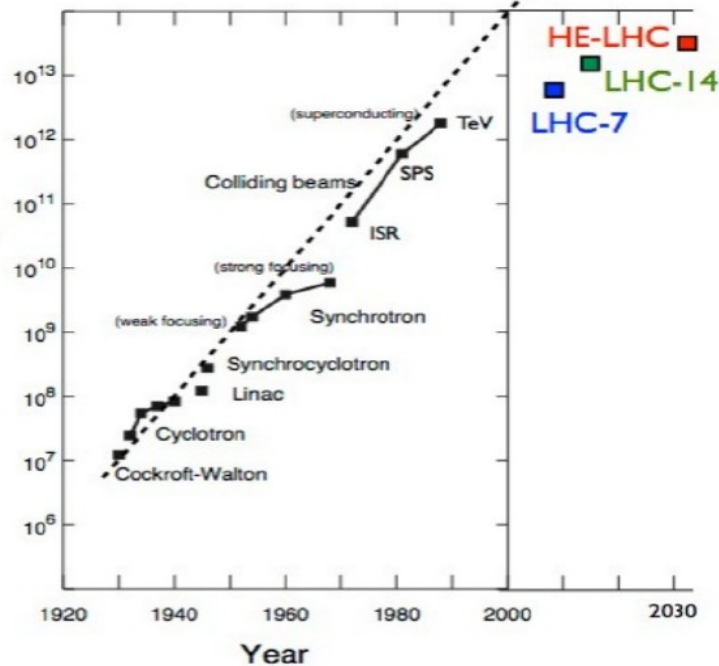


Constituintes da matéria na era d.c.



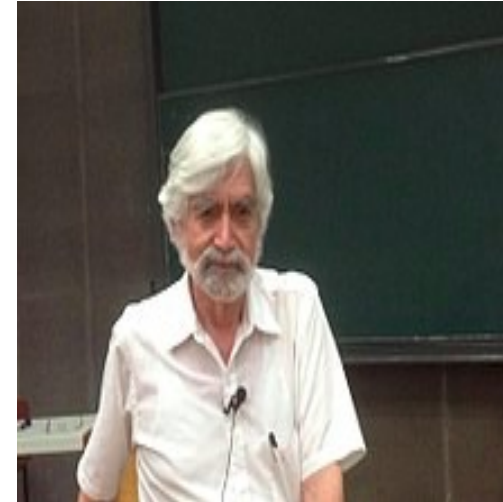
... e muitas outras!

Livingston line

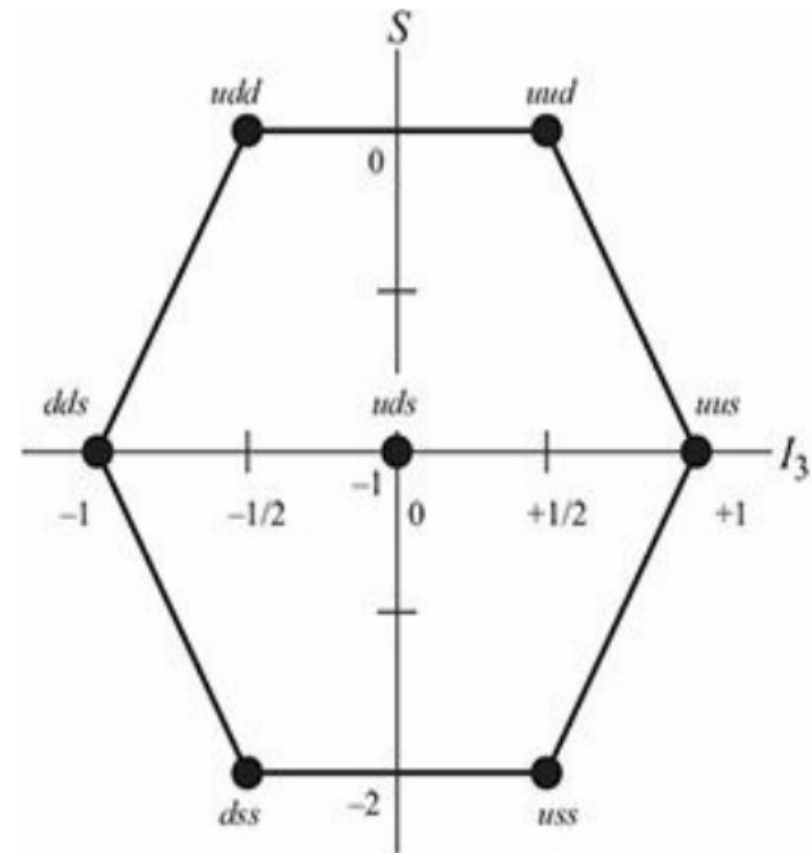
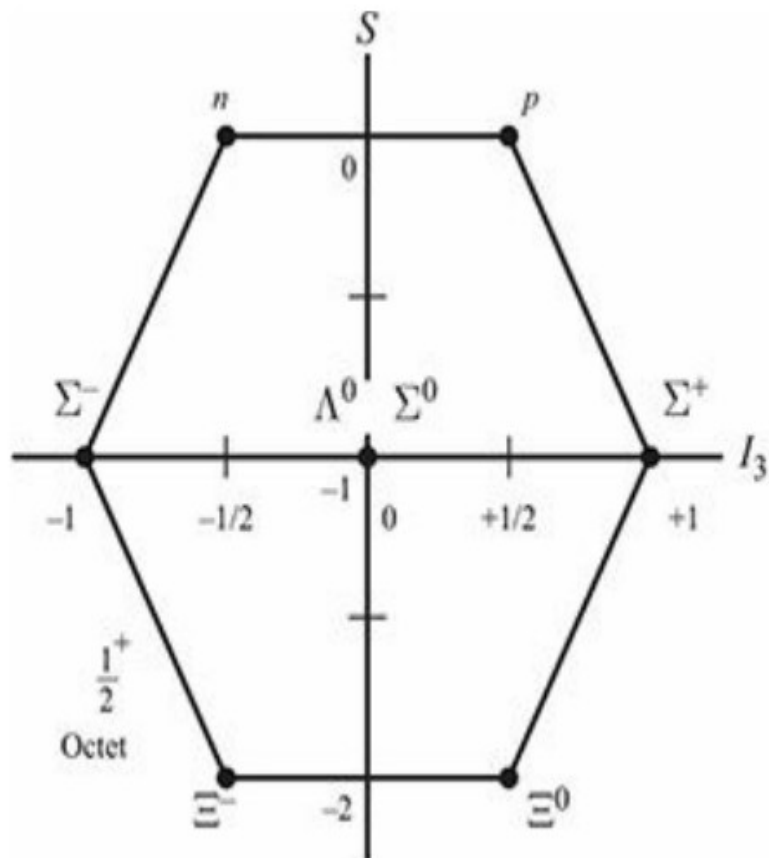


Partículas fundamentais?

Gell - mann / Zweig (1964): Quarks!

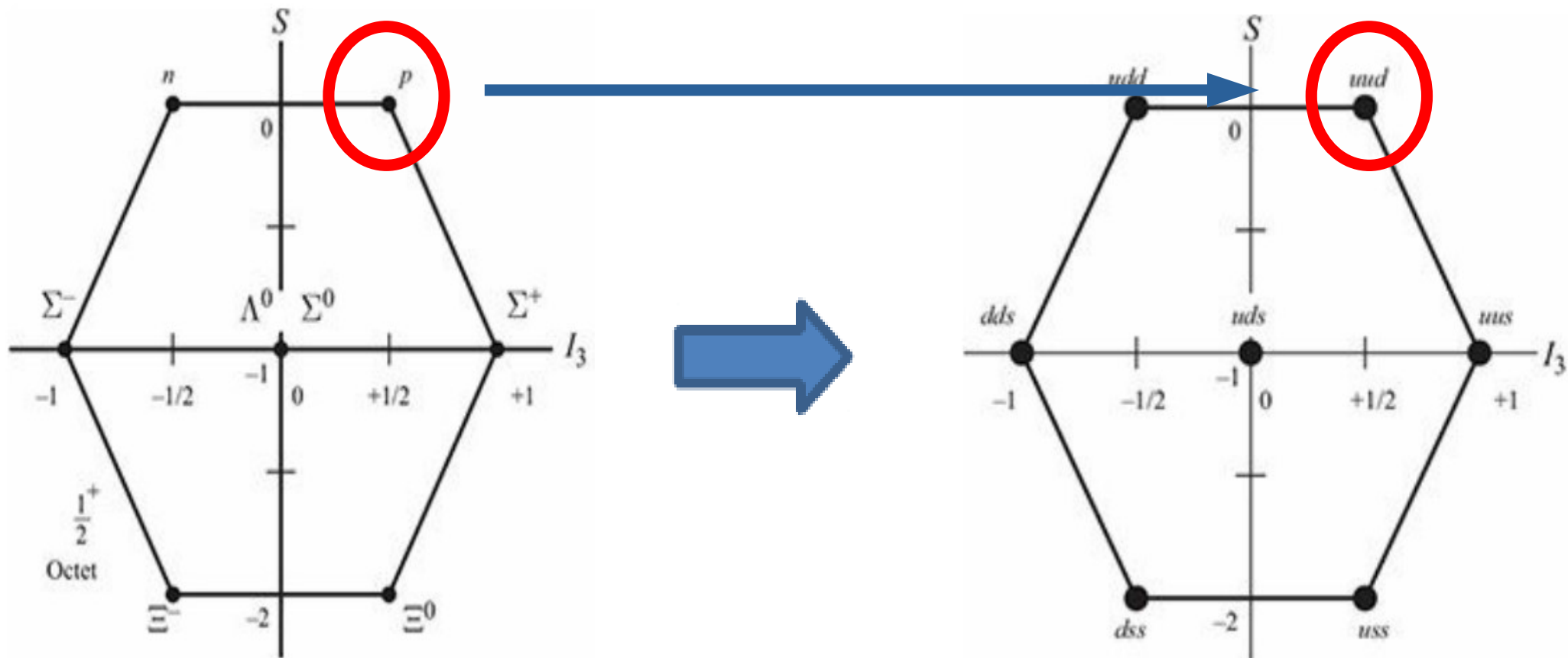


Modelo de quarks

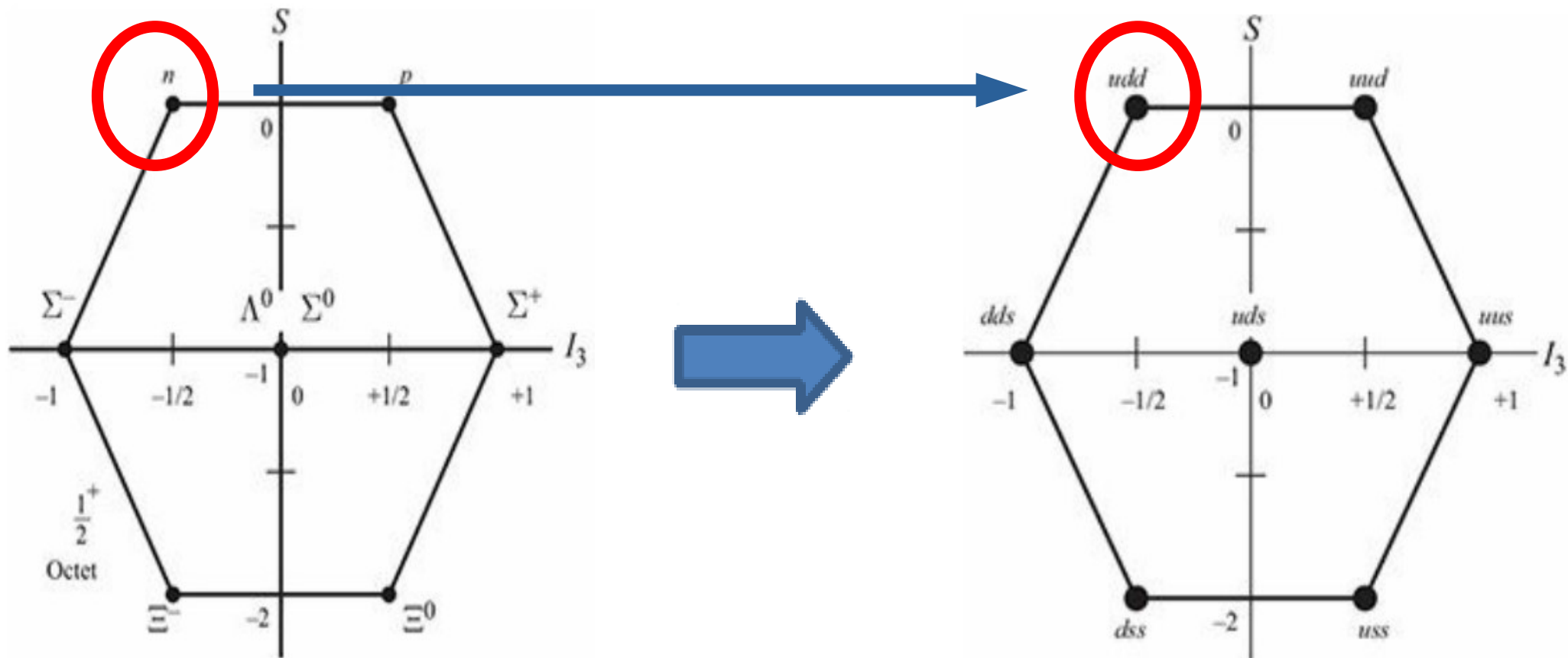


3 quarks: BARIONS!

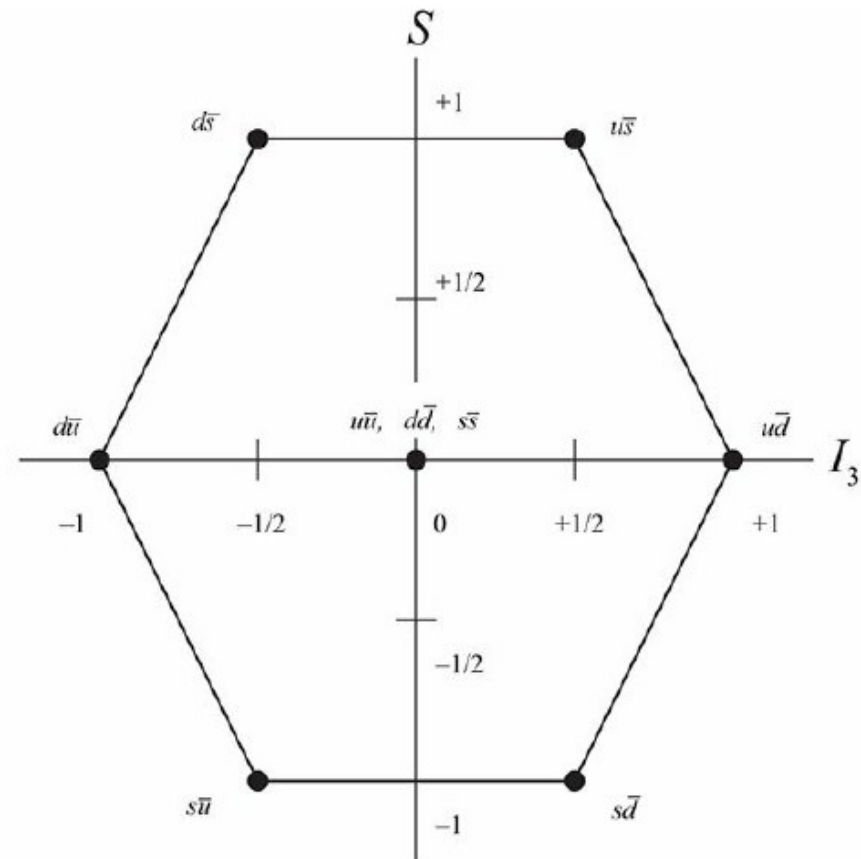
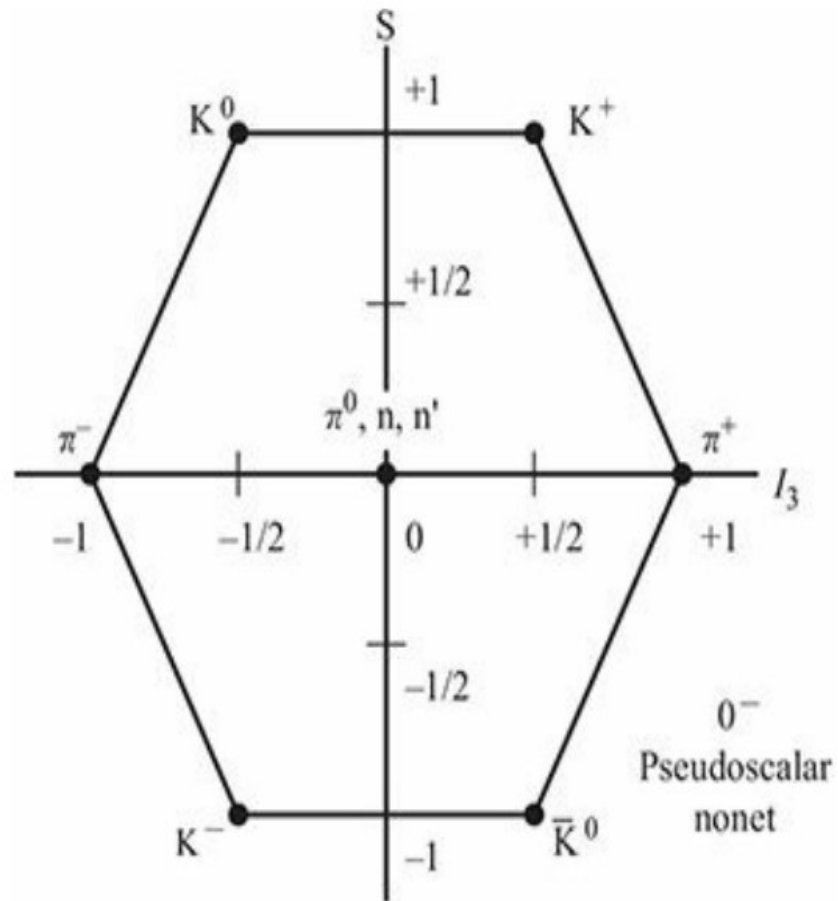
Modelo de quarks



Modelo de quarks

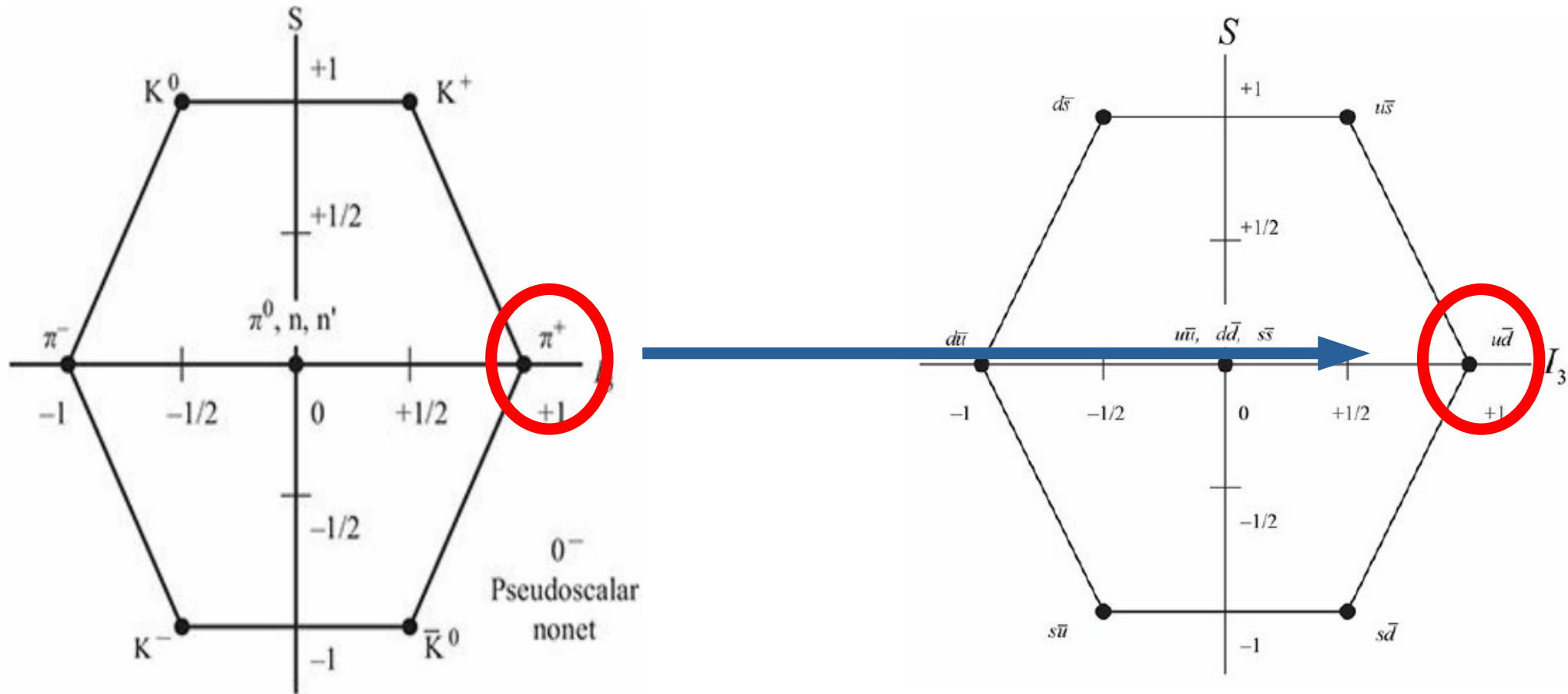


Modelo de quarks

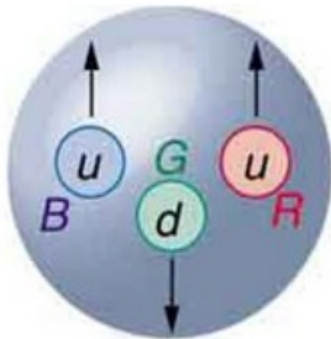


Quark + antiquark: MÉSONS!

Modelo de quarks



Modelo de quarks



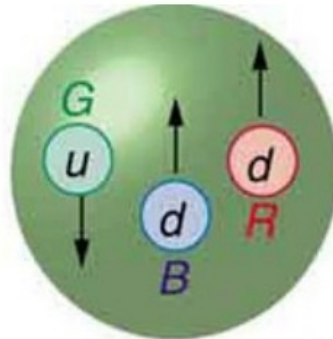
Proton

Spin

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

Charge

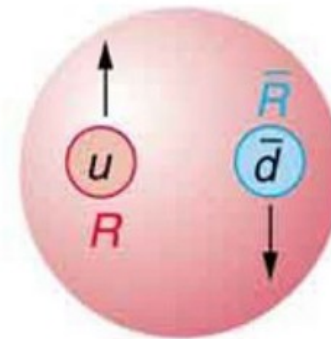
$$+\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$$



Neutron

$$-\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

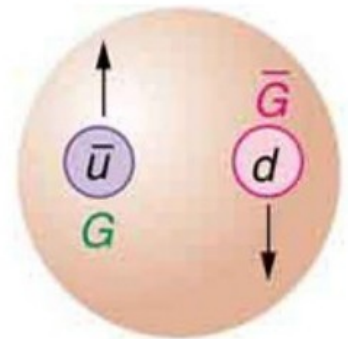
$$+\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$$



π^+

$$+\frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$$

$$+\frac{2}{3} + \frac{1}{3} = +1$$

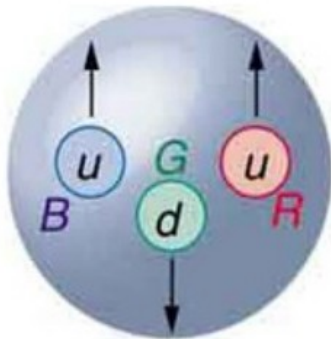


π^-

$$+\frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$$

$$-\frac{2}{3} - \frac{1}{3} = -1$$

Modelo de quarks



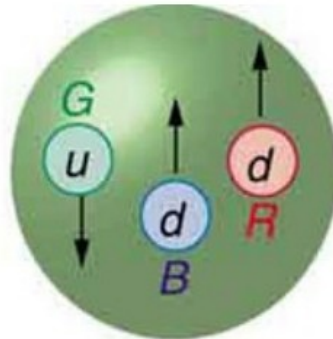
Proton

Spin

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

Charge

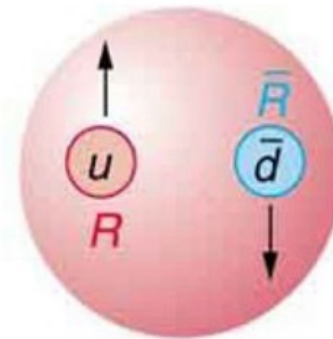
$$+\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$$



Neutron

$$-\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

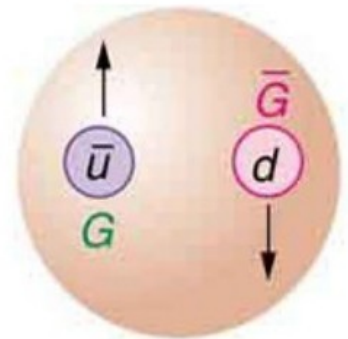
$$+\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$$



π^+

$$+\frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$$

$$+\frac{2}{3} + \frac{1}{3} = +1$$



π^-

$$+\frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$$

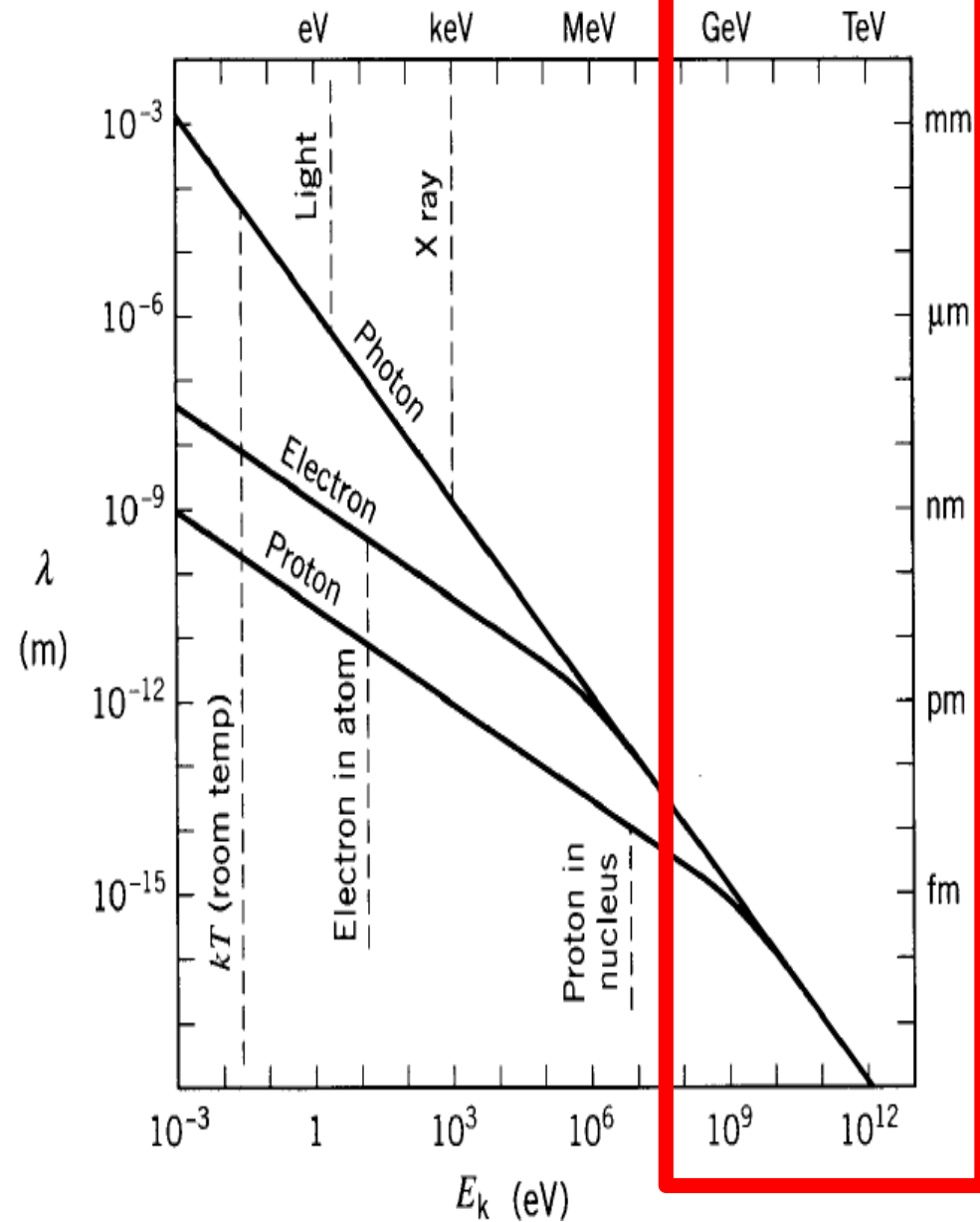
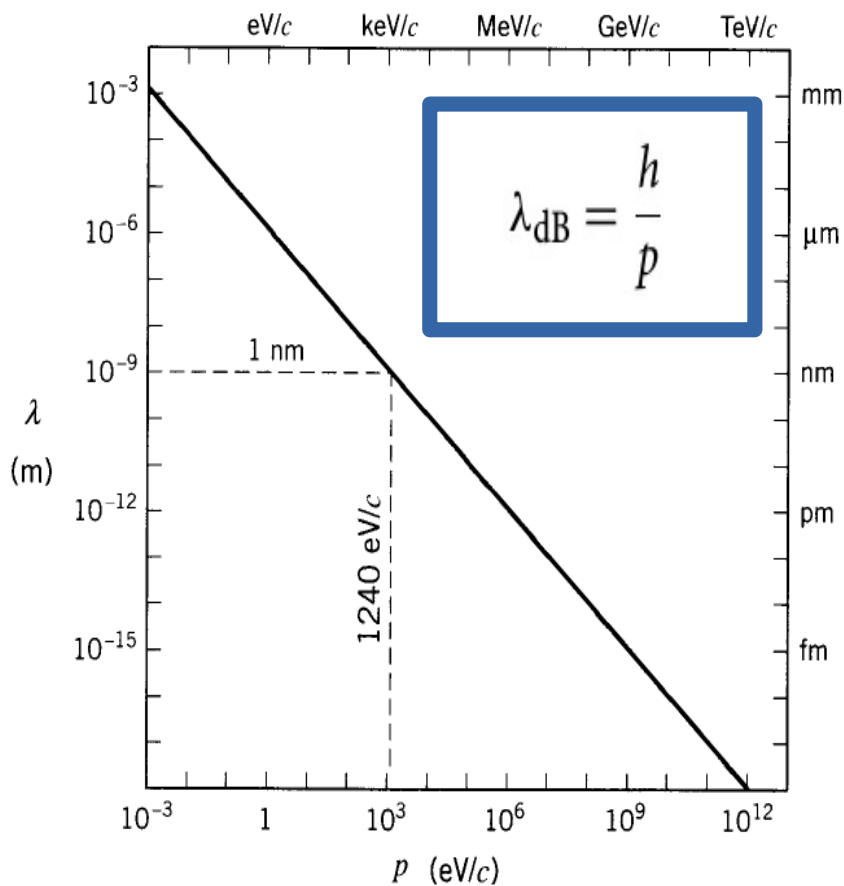
$$-\frac{2}{3} - \frac{1}{3} = -1$$

- Como pode um hádron, composto por quarks com elétrica, ser estável?

- Pq não observamos quarks isoladamente na Natureza?

Como podemos investigar a estrutura do próton ($d < 1 \text{ fm}$)?

Como podemos investigar a estrutura do próton ($d < 1 \text{ fm}$)?



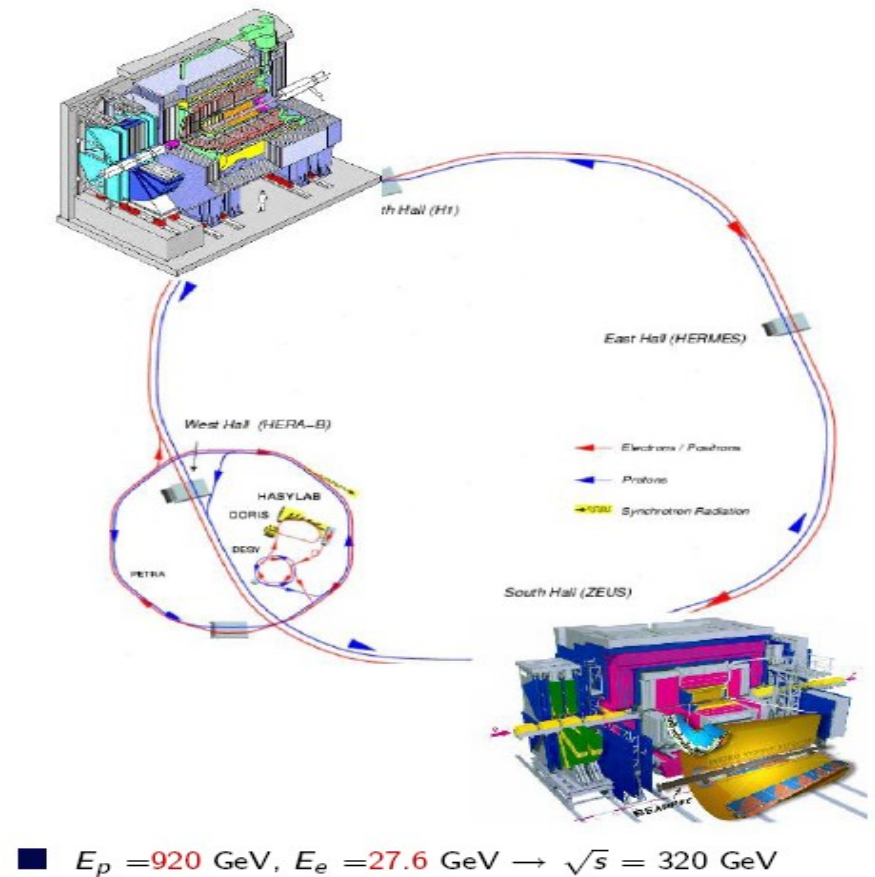
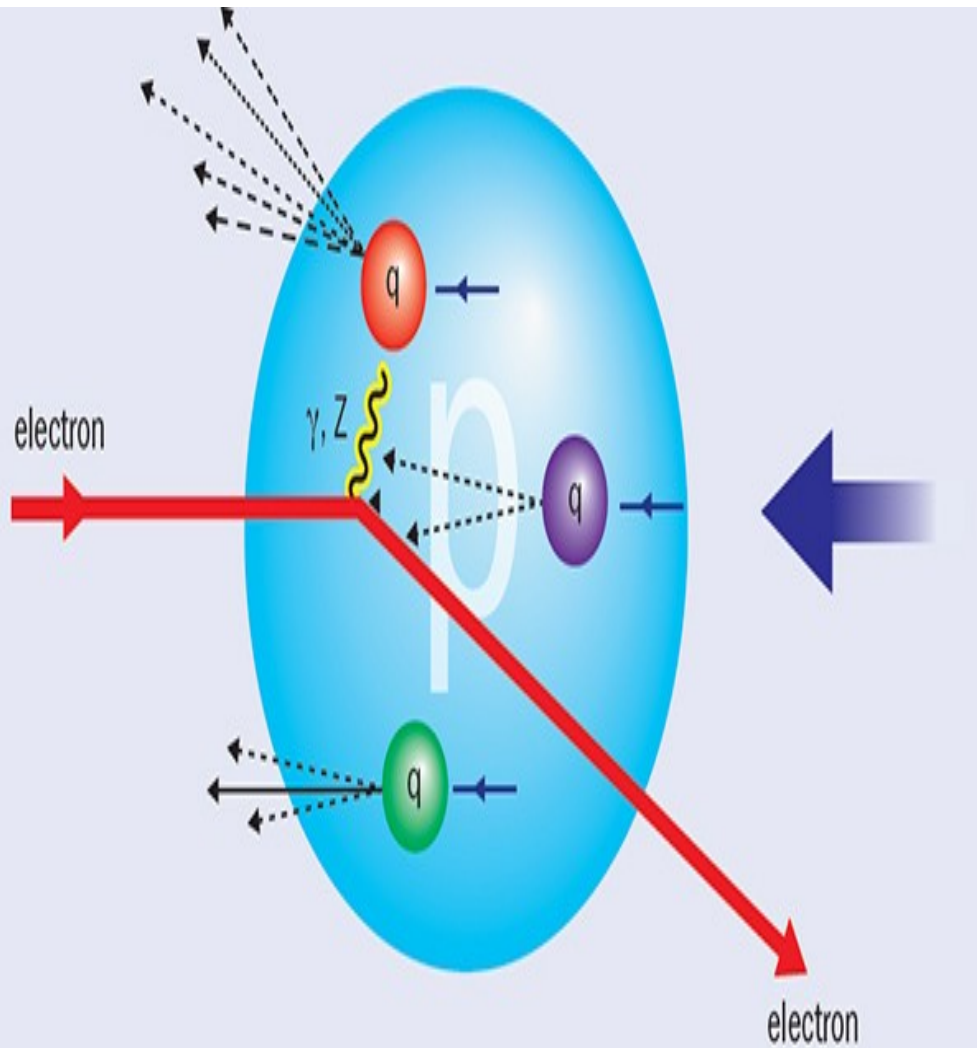
Como podemos investigar a estrutura do próton ($d < 1 \text{ fm}$)?

Collider	Particles	Shape and circumference	Energy	Location	Years
SLC	e^+e^-	Linear, 3 km	$2 \times 50 \text{ GeV}$	Stanford USA	1989–1998
LEP	e^+e^-	Circular, 27 km	up to $2 \times 104.5 \text{ GeV}$	CERN	1989–2000
HERA	e^-p e^+p	Circular, 6.3 km	$27.5 \text{ GeV } (e^\pm)$, $920 \text{ GeV } (p)$	DESY Germany	1992–2007
Tevatron	$p\bar{p}$	Circular, 6.3 km	up to $2 \times 980 \text{ GeV}$	Fermilab USA	1992–2011
LHC	pp	Circular, 27 km	up to $2 \times 7 \text{ TeV}$	CERN	2008–present

Como podemos investigar a estrutura do próton ($d < 1 \text{ fm}$)?

Collider	Particles	Shape and circumference	Energy	Location	Years
SLC	e^+e^-	Linear, 3 km	$2 \times 50 \text{ GeV}$	Stanford USA	1989–1998
LEP	e^+e^-	Circular, 27 km	up to $2 \times 104.5 \text{ GeV}$	CERN	1989–2000
HERA	e^-p e^+p	Circular, 6.3 km	$27.5 \text{ GeV } (e^\pm)$, $920 \text{ GeV } (p)$	DESY Germany	1992–2007
Tevatron	$p\bar{p}$	Circular, 6.3 km	up to $2 \times 980 \text{ GeV}$	Fermilab USA	1992–2011
LHC	pp	Circular, 27 km	up to $2 \times 7 \text{ TeV}$	CERN	2008–present

O espalhamento profundamente inelástico

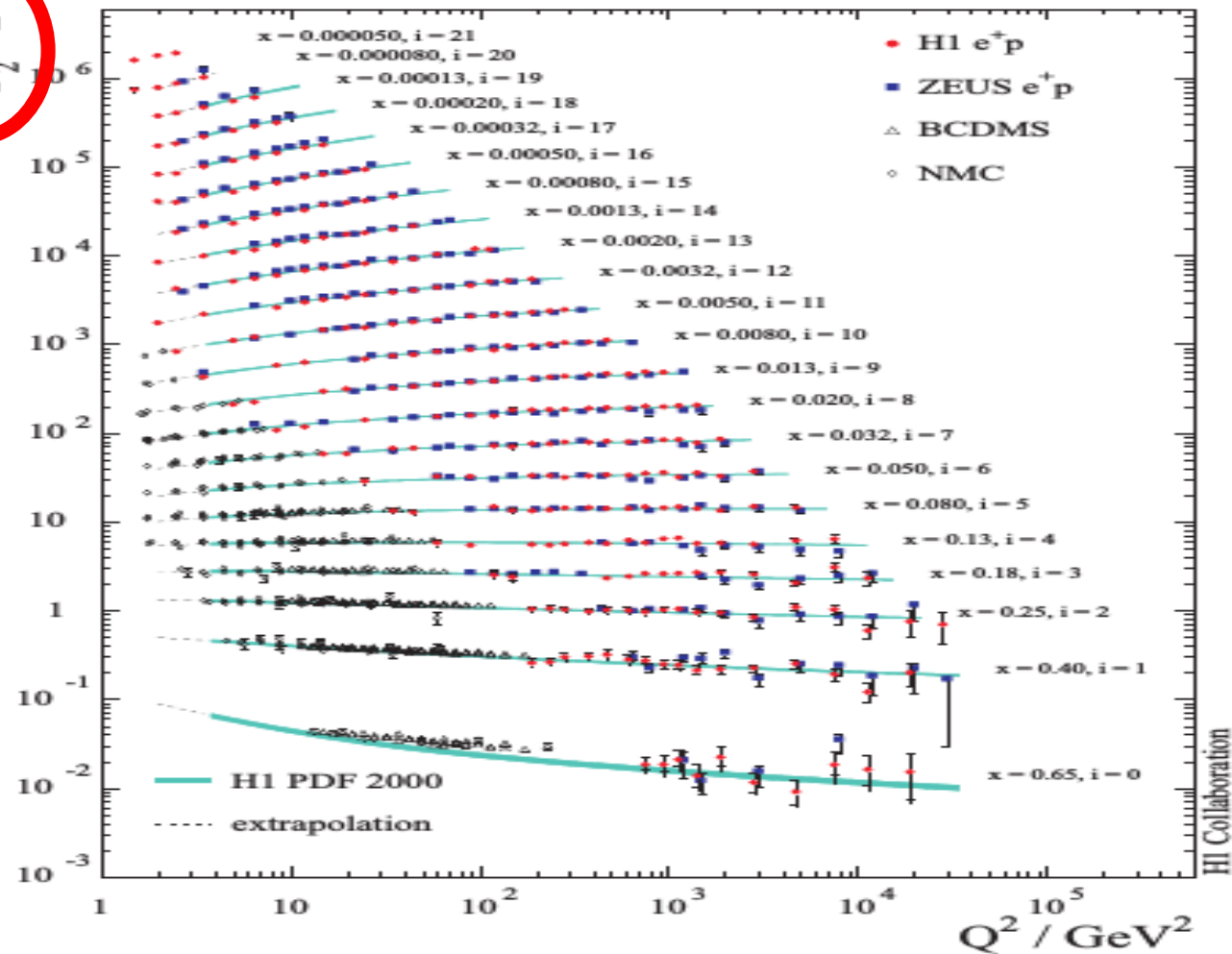


DESY - HERA (1992 - 2007)

O espalhamento profundamente inelástico

Determina a quantidade de quarks com fração de momentum x para uma dada resolução

$$F_2 \times 10^i$$



PODER DE RESOLUÇÃO

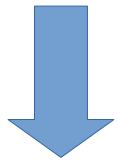
O espalhamento profundamente inelástico

DADOS EXPERIMENTAIS:

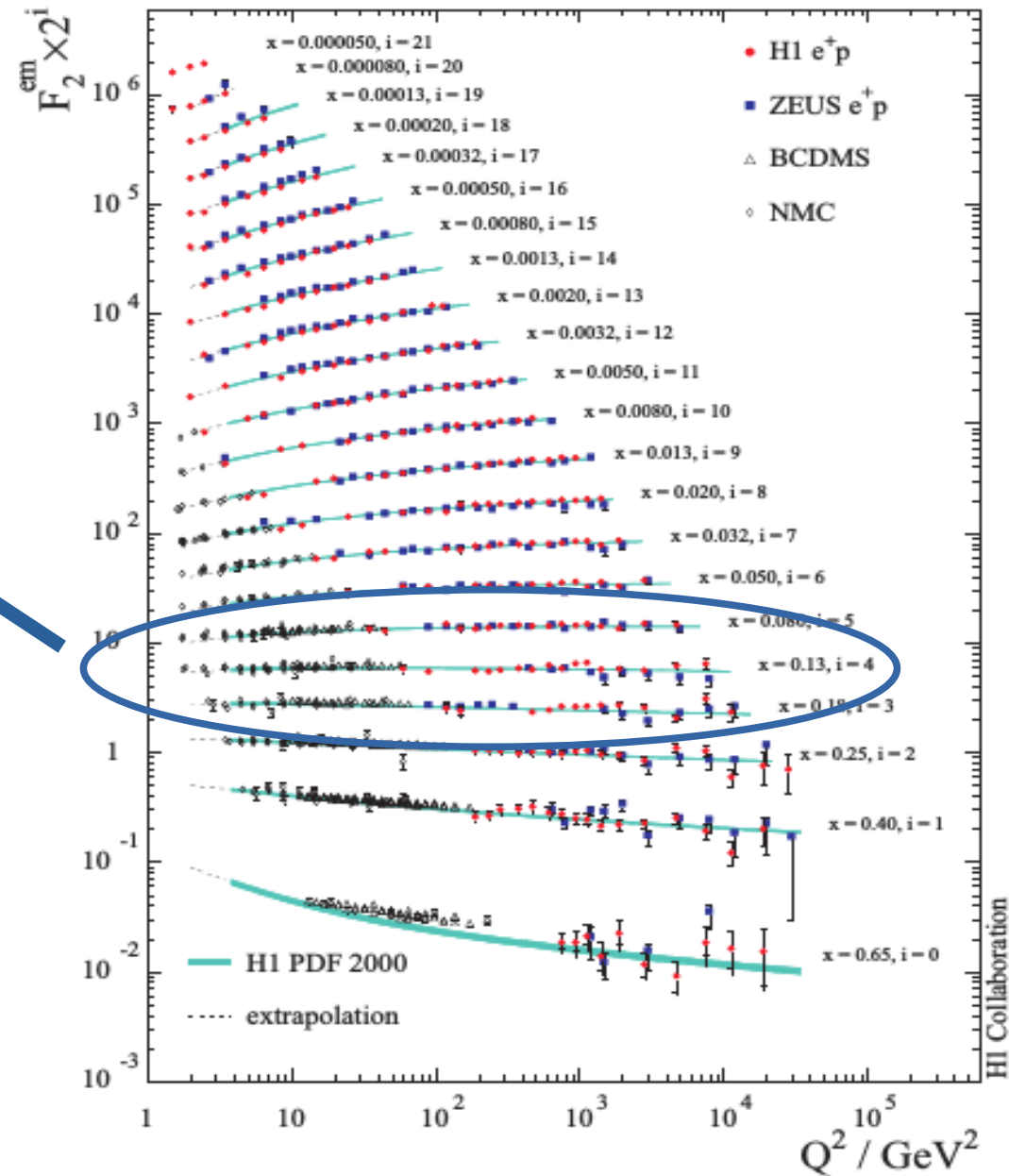
Para x intermediário:

$$F_2(x, Q^2) = F_2(x)$$

Escalonamento de Bjorken



INDICATIVO DA INTERAÇÃO
COM PARTÍCULAS PONTUAIS
CARREGADAS ELETRICAMENTE
DENTRO DO PRÓTON!



O espalhamento profundamente inelástico

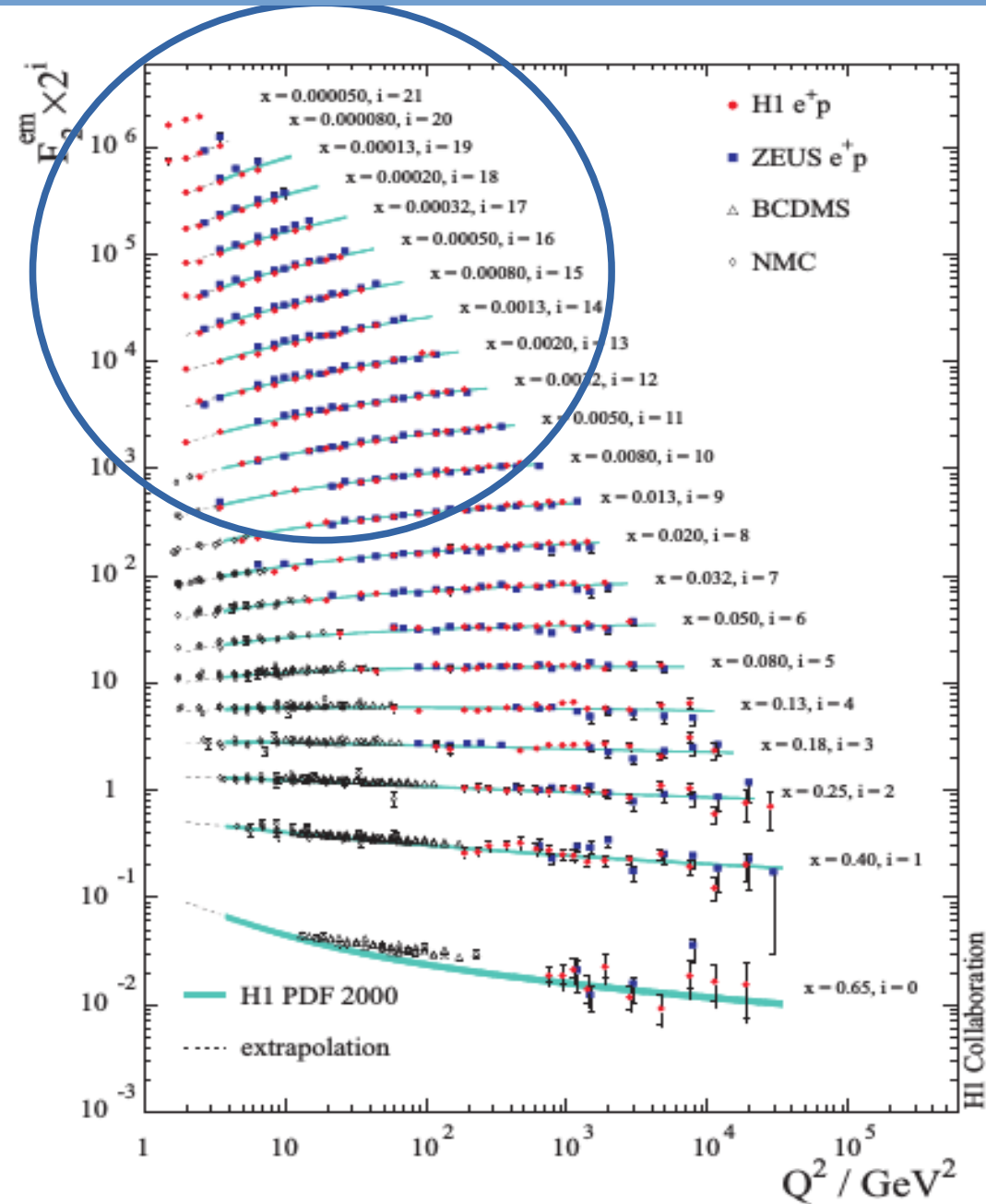
DADOS EXPERIMENTAIS:

Para pequeno - x :

$$F_2 = F_2(x, Q^2)$$

Violações do Escalonamento de Bjorken.

INDICATIVO DE UMA EVOLUÇÃO DINÂMICA DA ESTRUTURA DO PRÓTON.



O espalhamento profundamente inelástico

DADOS EXPERIMENTAIS:

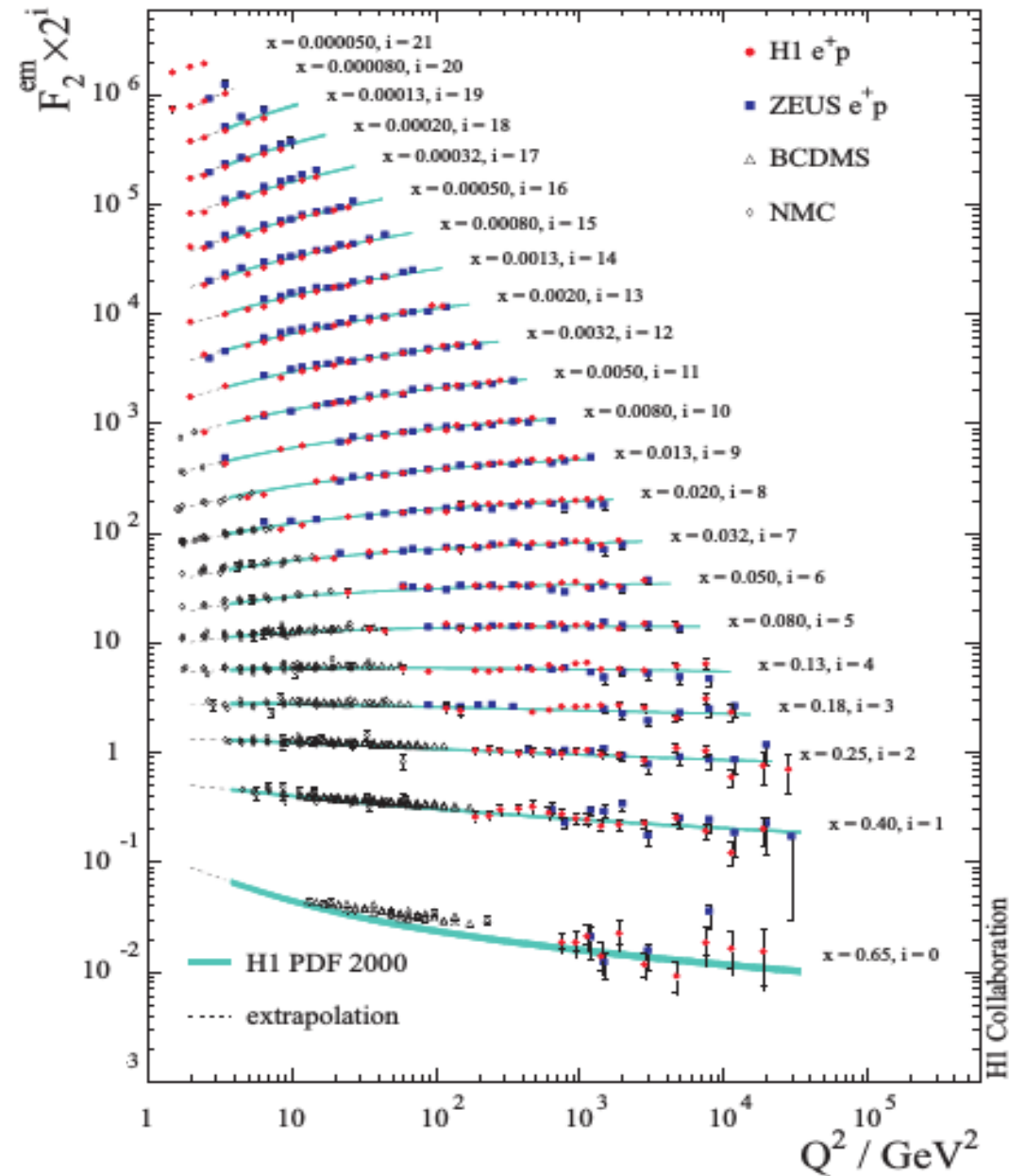
INDICAM QUE OS QUARKS
PORTAM APENAS 50% DO
MOMENTUM DO PRÓTON!



GLÚONS!

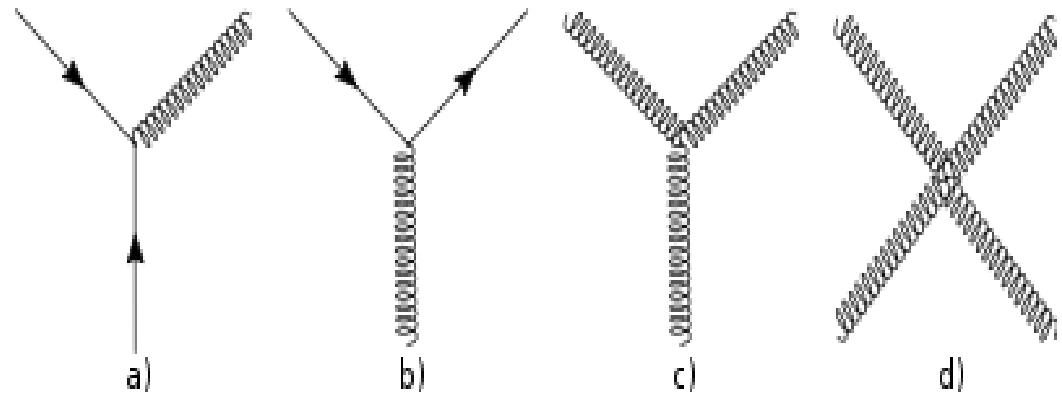
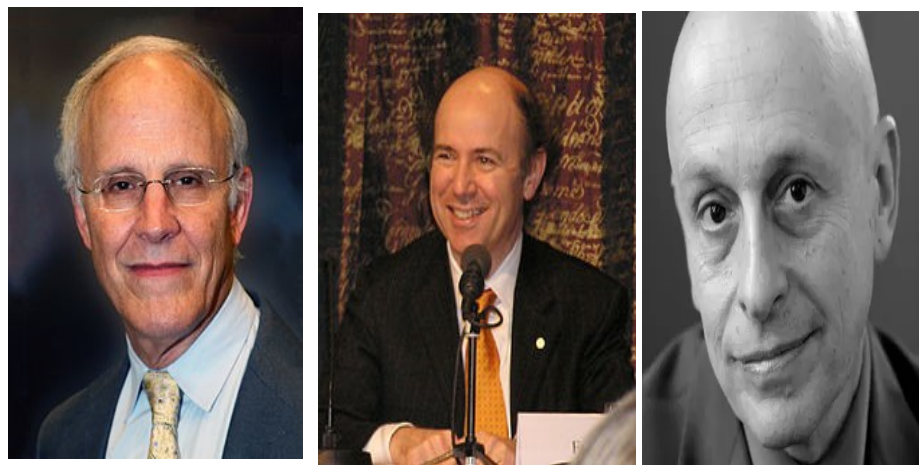


Mediadores da interação forte!



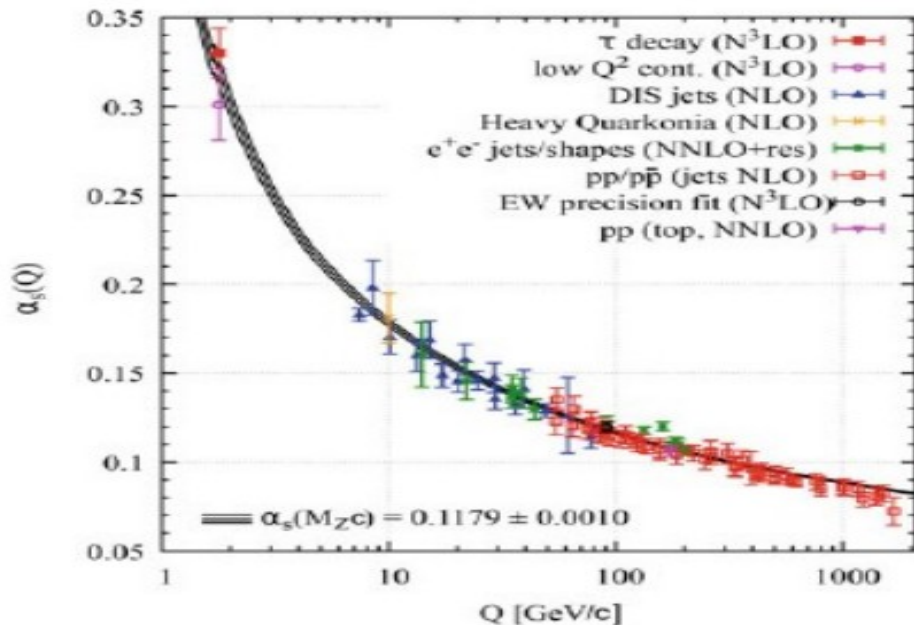
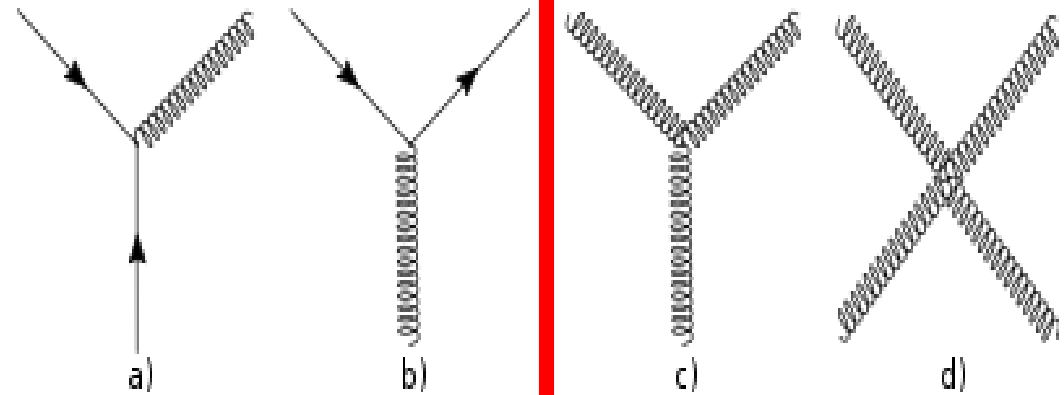
Teoria das Interações Fortes (QCD)

Gross / Wilczek / Politzer (1973):



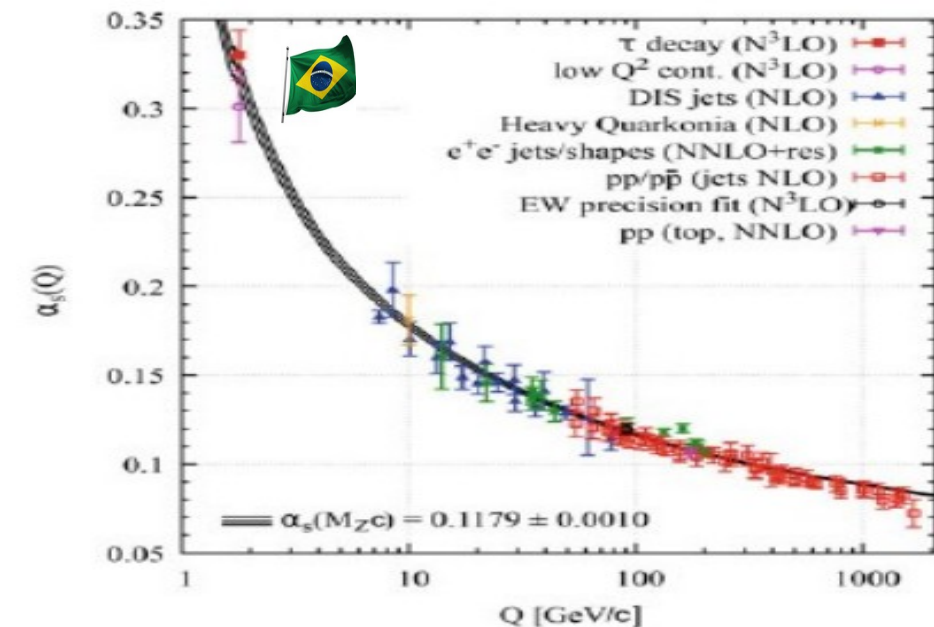
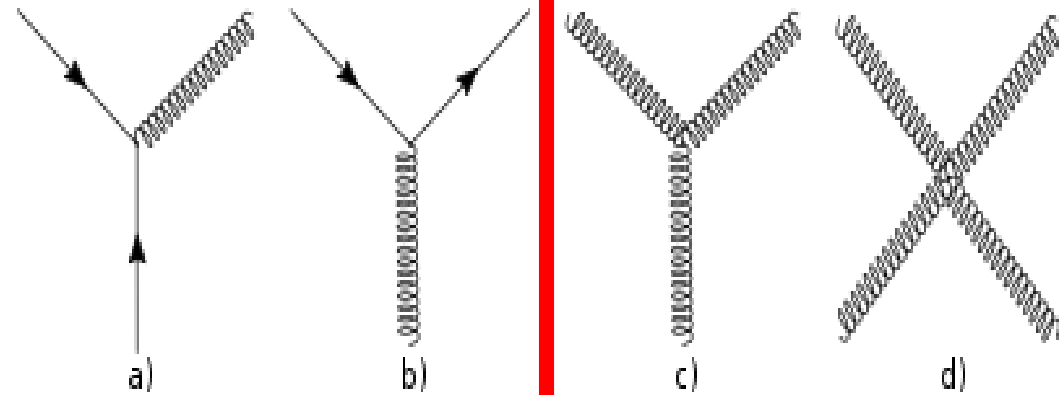
Teoria das Interações Fortes (QCD)

Gross / Wilczek / Politzer (1973):



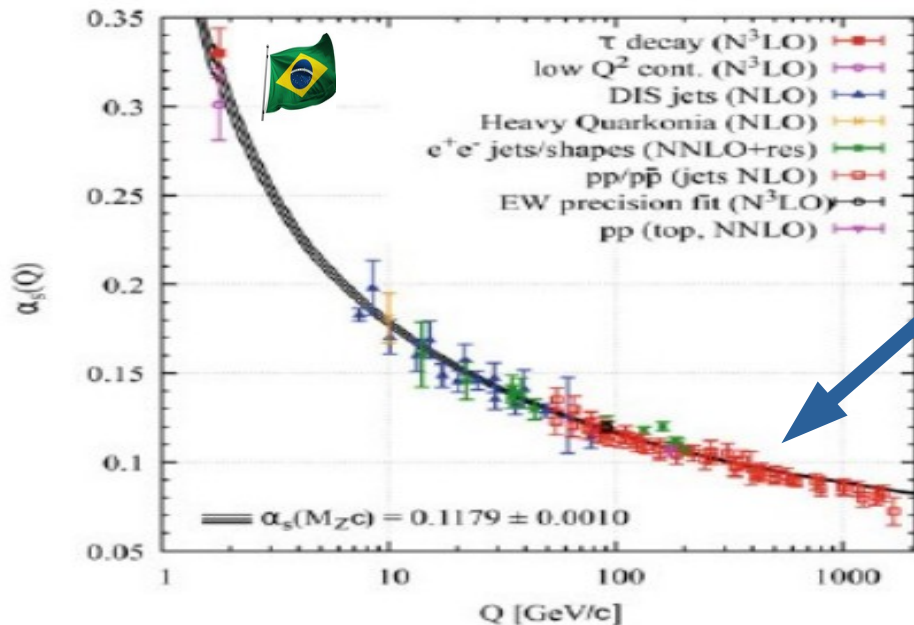
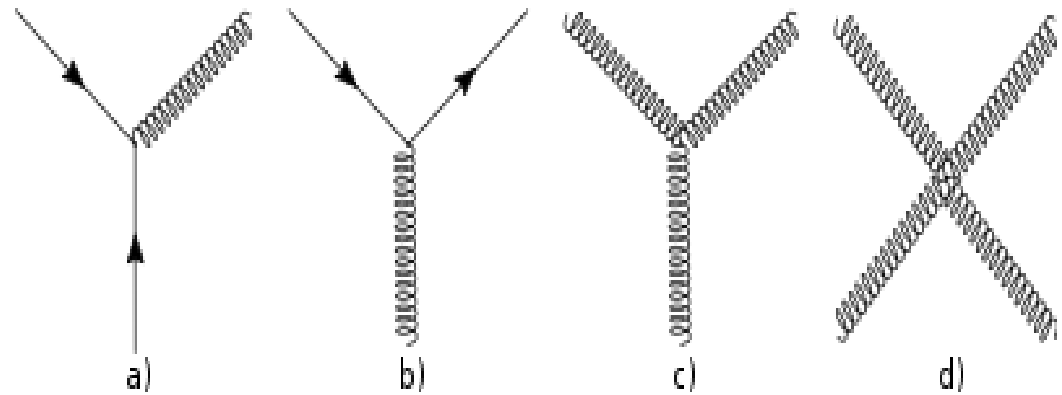
Teoria das Interações Fortes (QCD)

Gross / Wilczek / Politzer (1973):



Teoria das Interações Fortes (QCD)

Gross / Wilczek / Politzer (1973):

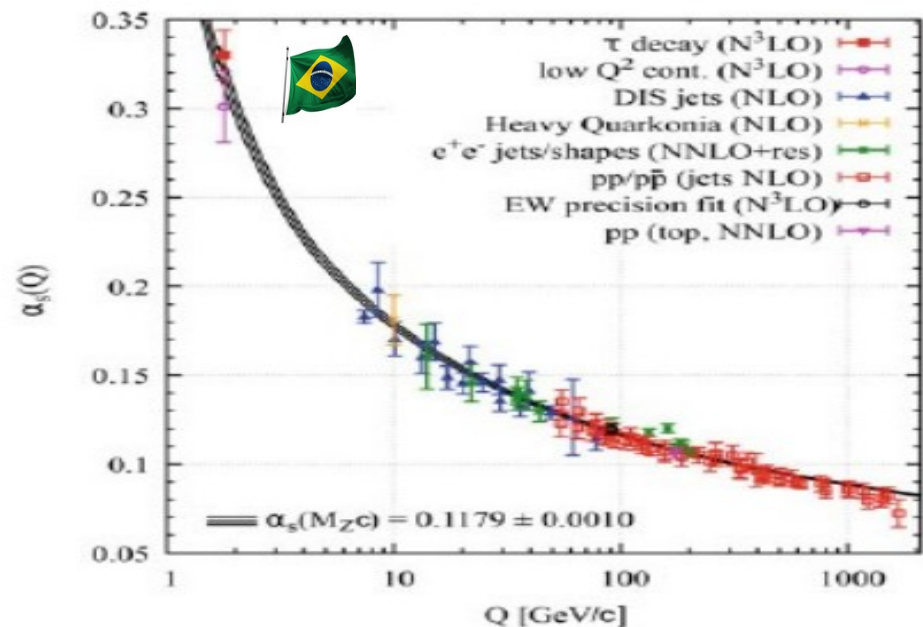
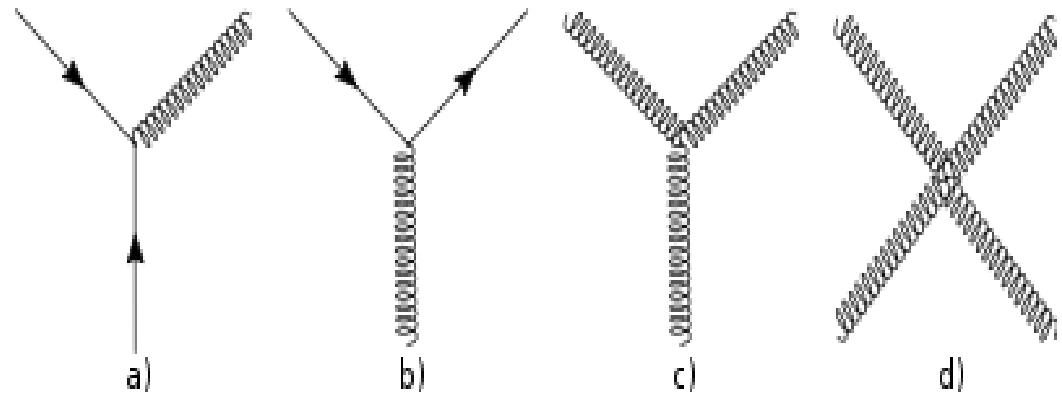


PROPRIEDADES BÁSICAS:

Curtas distâncias: LIBERDADE ASSINTÓTICA

Teoria das Interações Fortes (QCD)

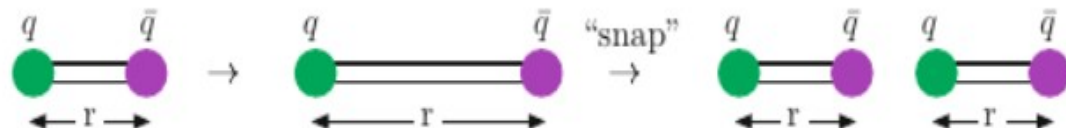
Gross / Wilczek / Politzer (1973):



PROPRIEDADES BÁSICAS:

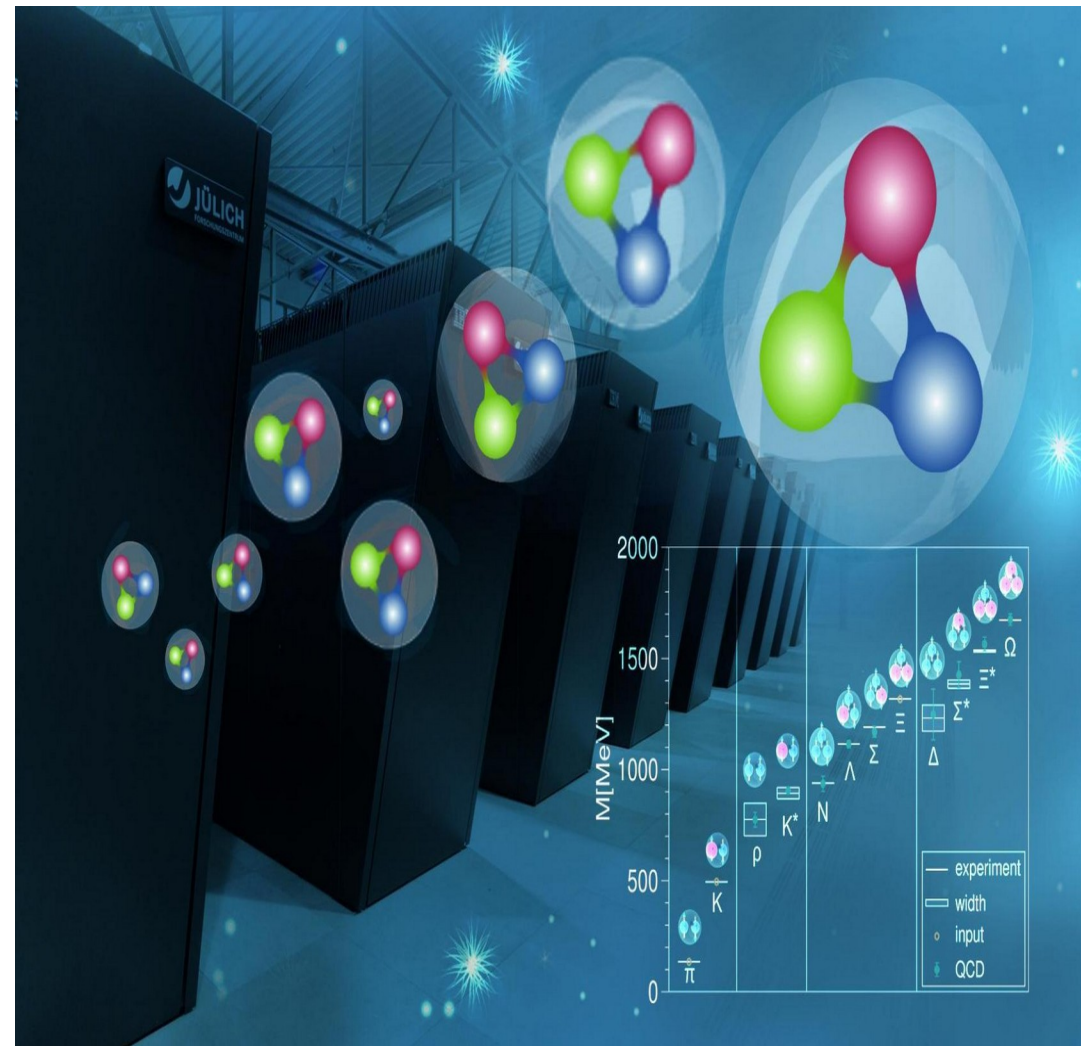
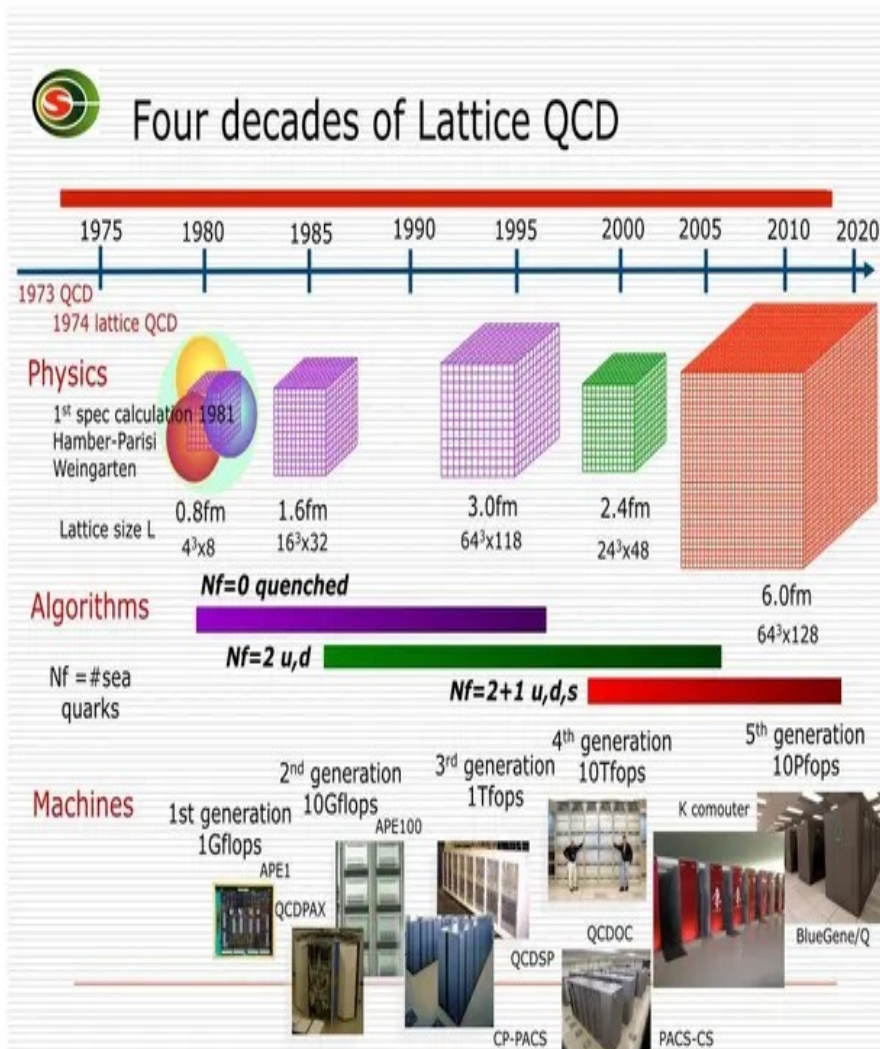
Curtas distâncias: LIBERDADE ASSINTÓTICA

Longas distâncias: CONFINAMENTO



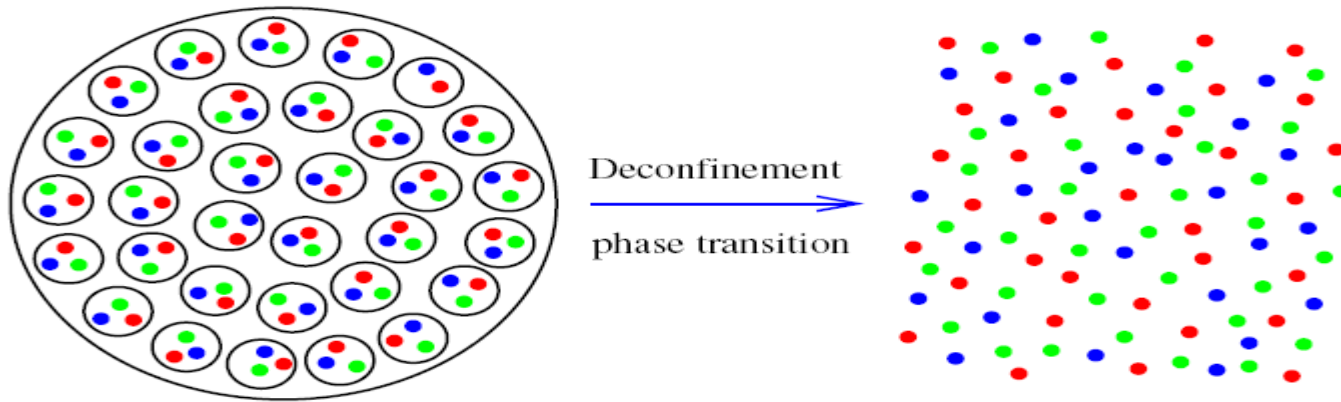
Teoria das Interações Fortes (QCD)

Como derivar as funções de onda dos hádrons a partir da QCD?



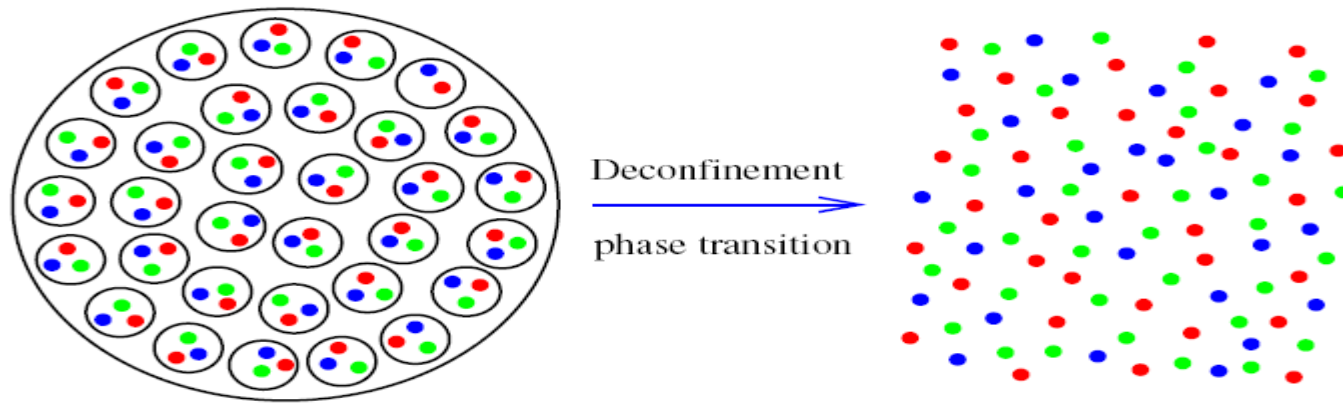
Teoria das Interações Fortes (QCD)

Há como observar quarks & glúons em um estado não confinado?

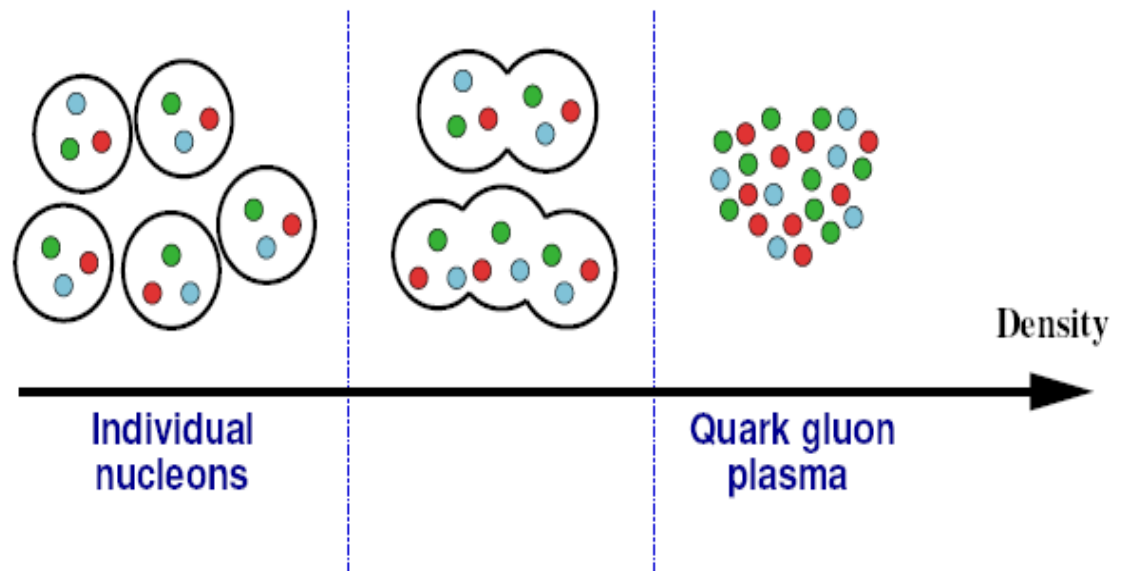


Teoria das Interações Fortes (QCD)

Há como observar quarks & glúons em um estado não confinado?

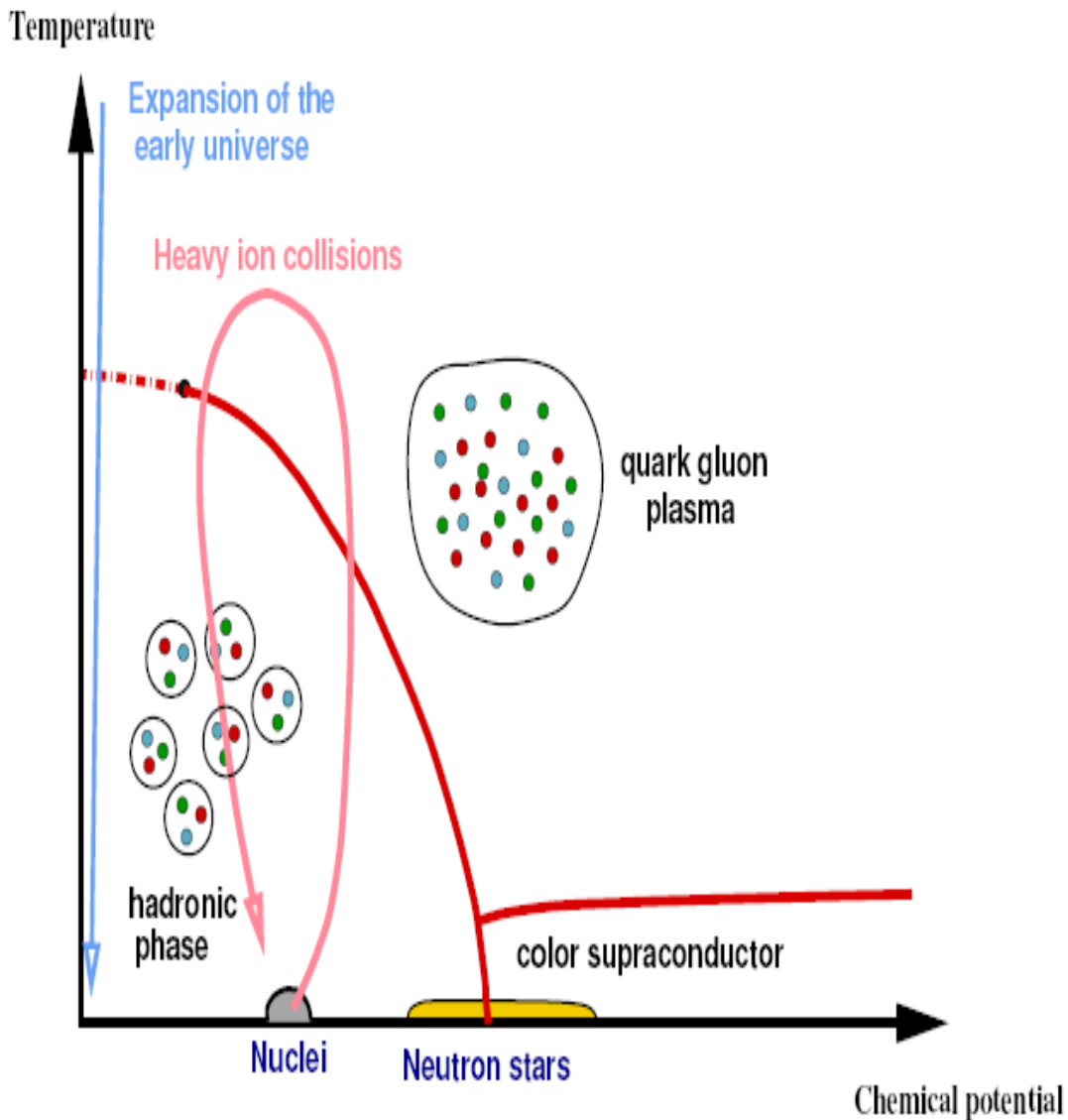


Uma possibilidade:



Teoria das Interações Fortes (QCD)

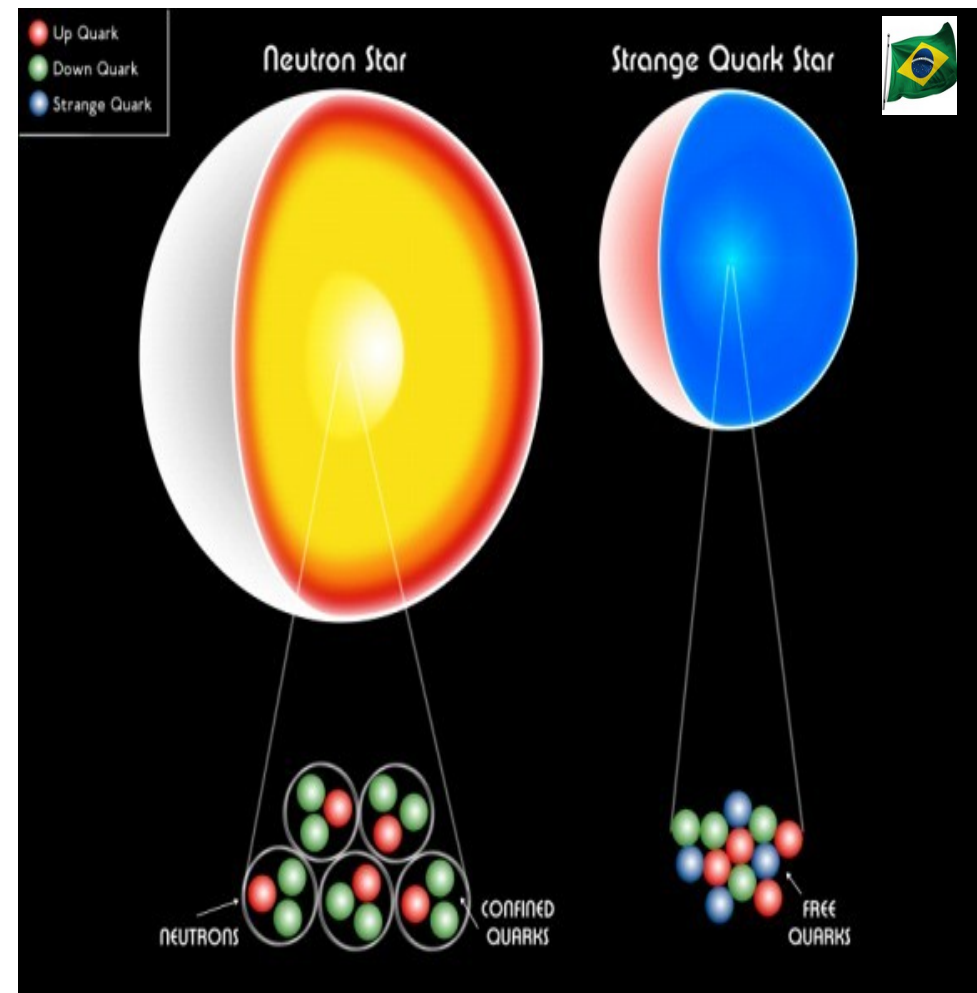
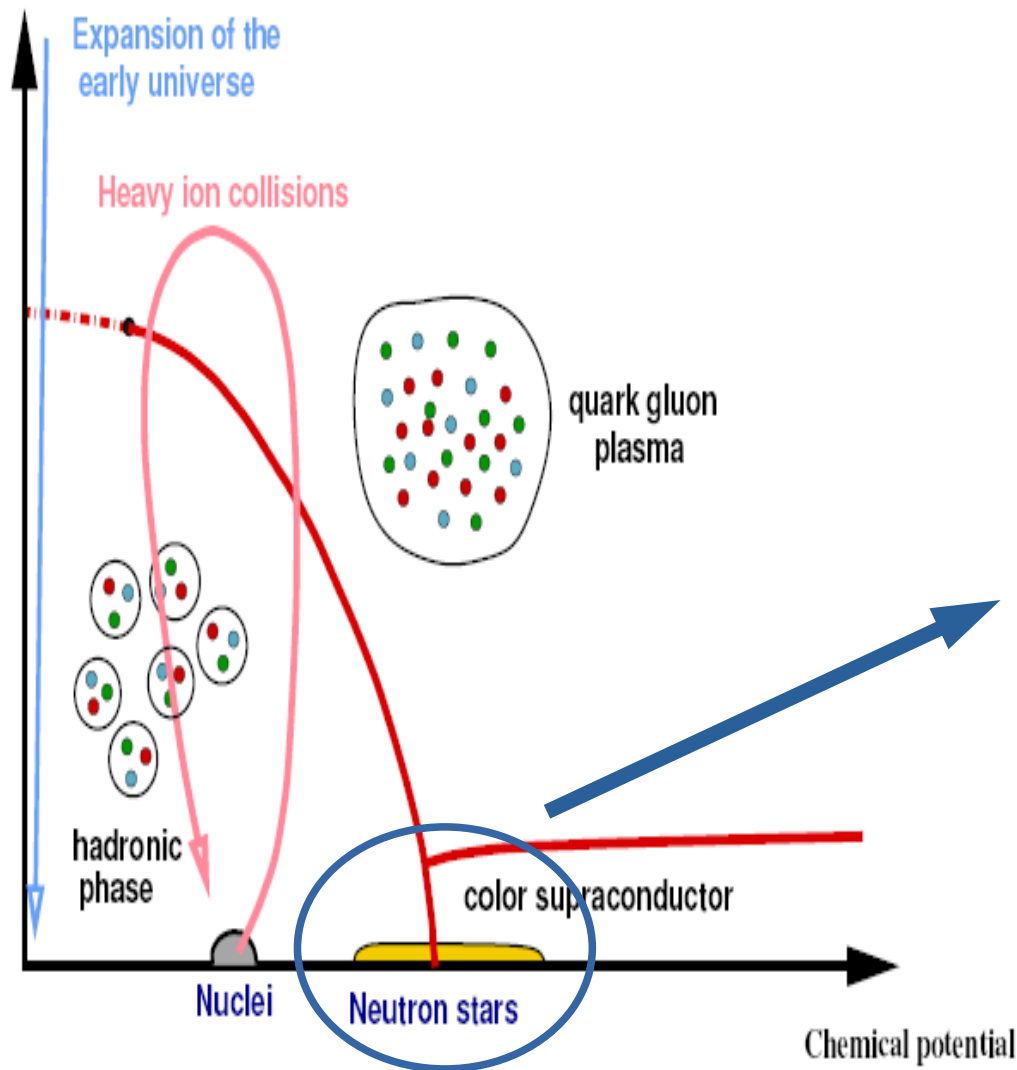
DIAGRAMA DE FASE DA QCD (versão simplificada!):



Teoria das Interações Fortes (QCD)

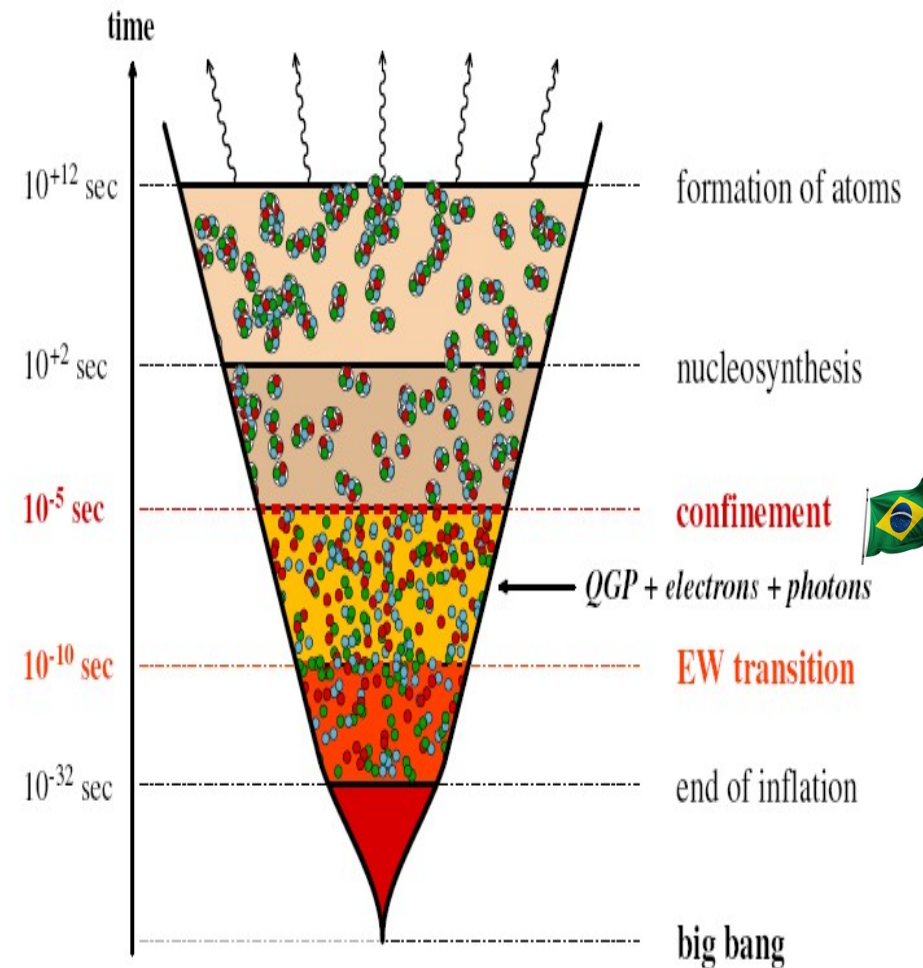
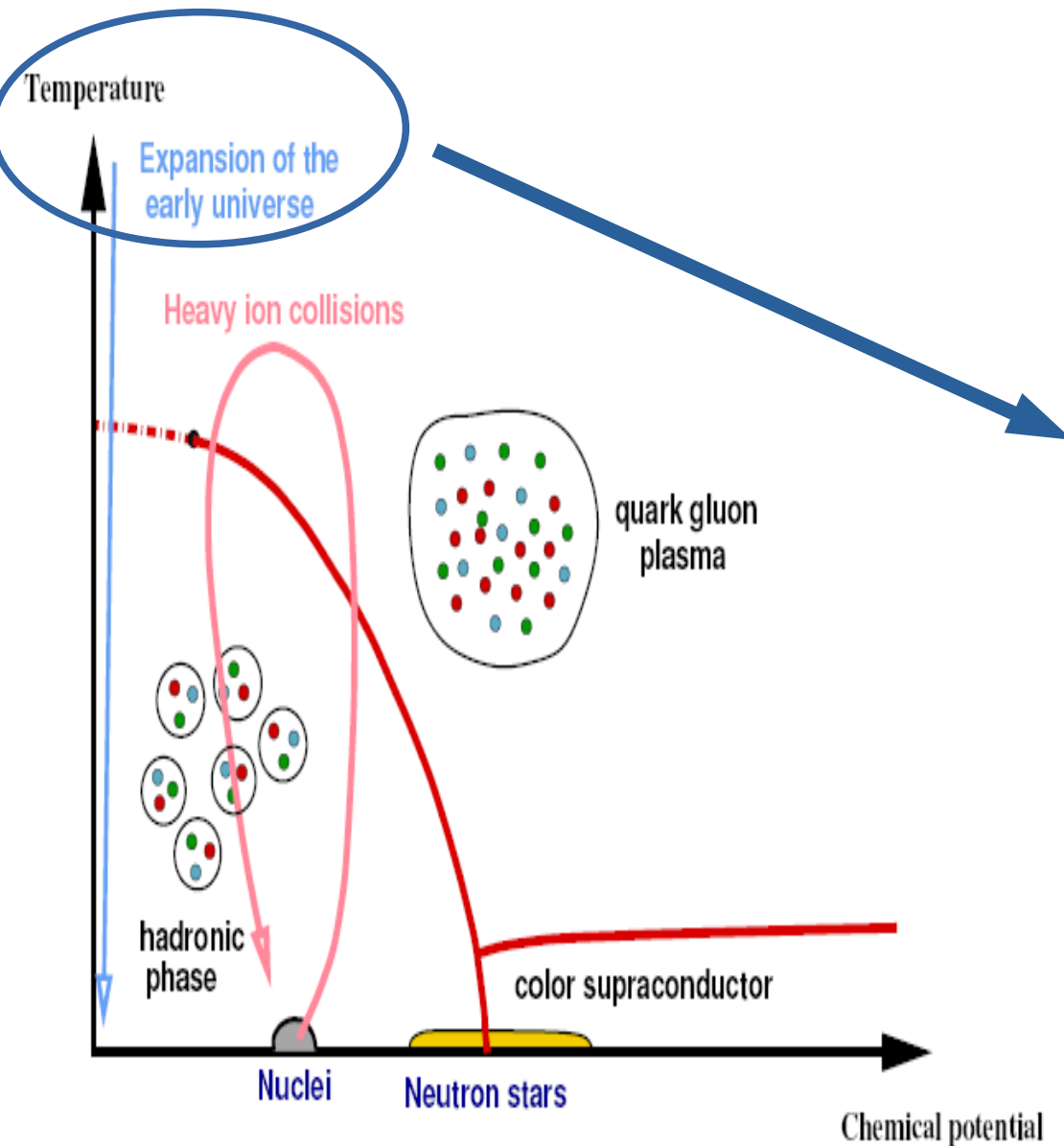
DIAGRAMA DE FASE DA QCD (versão simplificada!):

Temperature



Teoria das Interações Fortes (QCD)

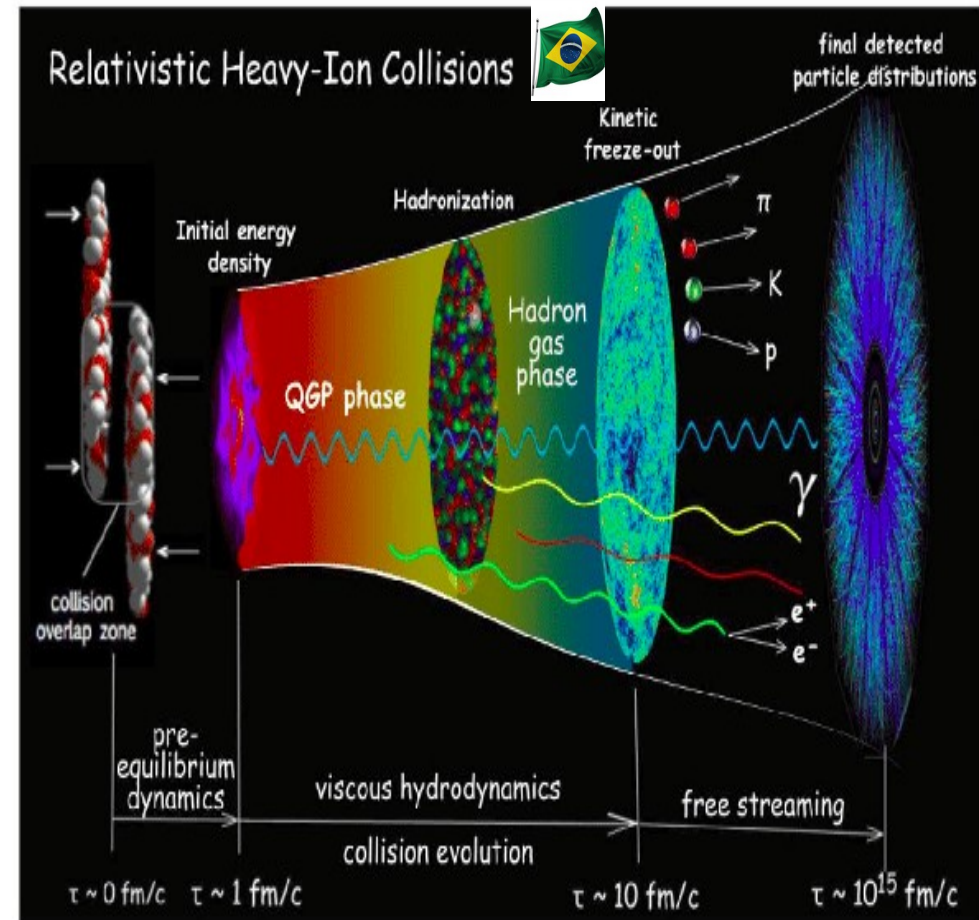
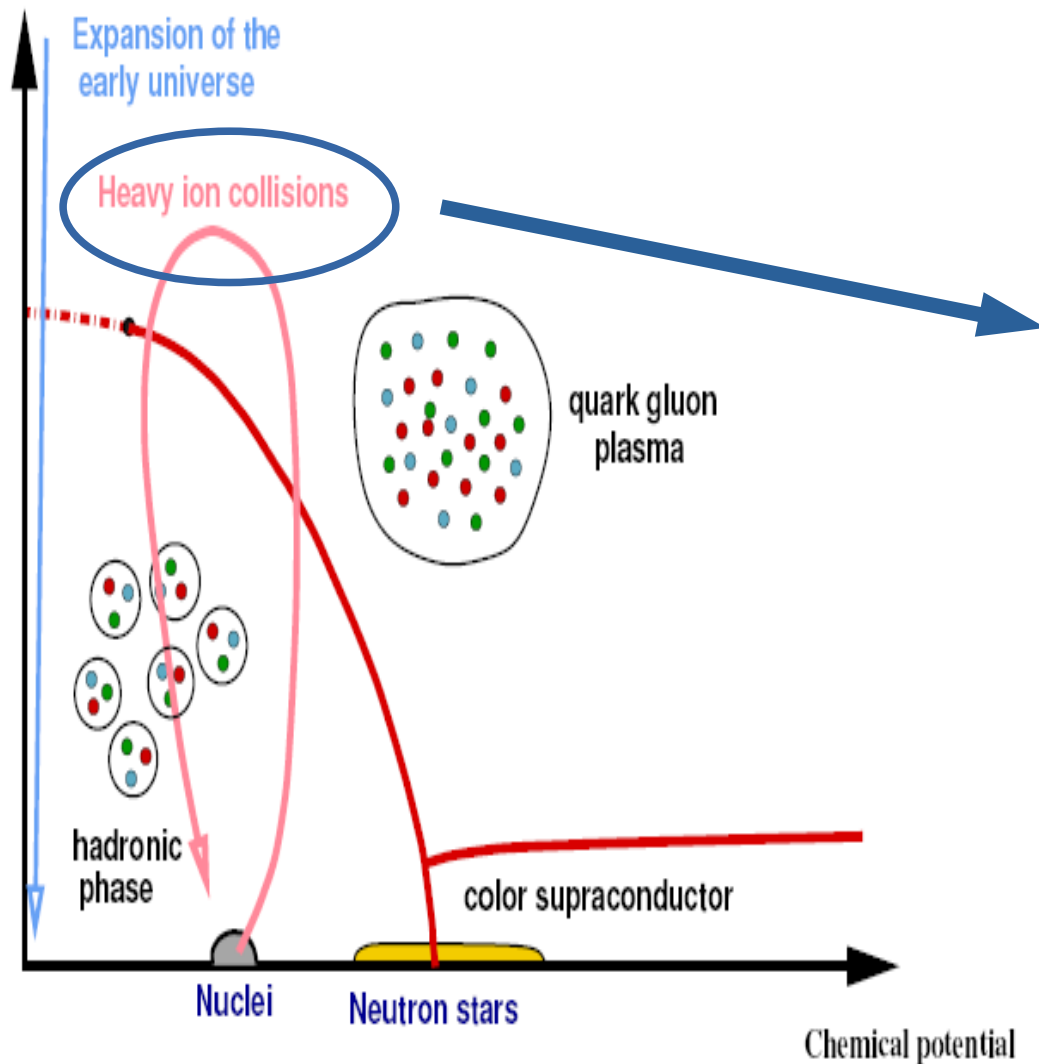
DIAGRAMA DE FASE DA QCD (versão simplificada!):



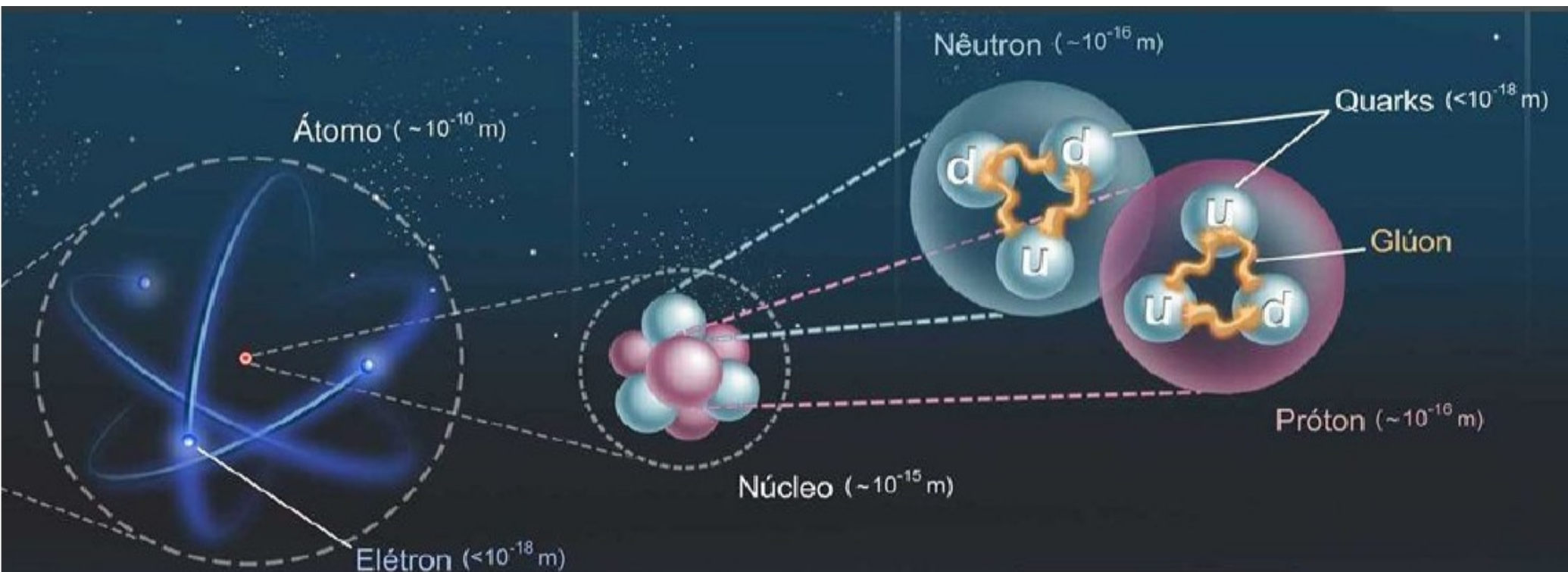
Teoria das Interações Fortes (QCD)

DIAGRAMA DE FASE DA QCD (versão simplificada!):

Temperature



Do átomo aos quarks:



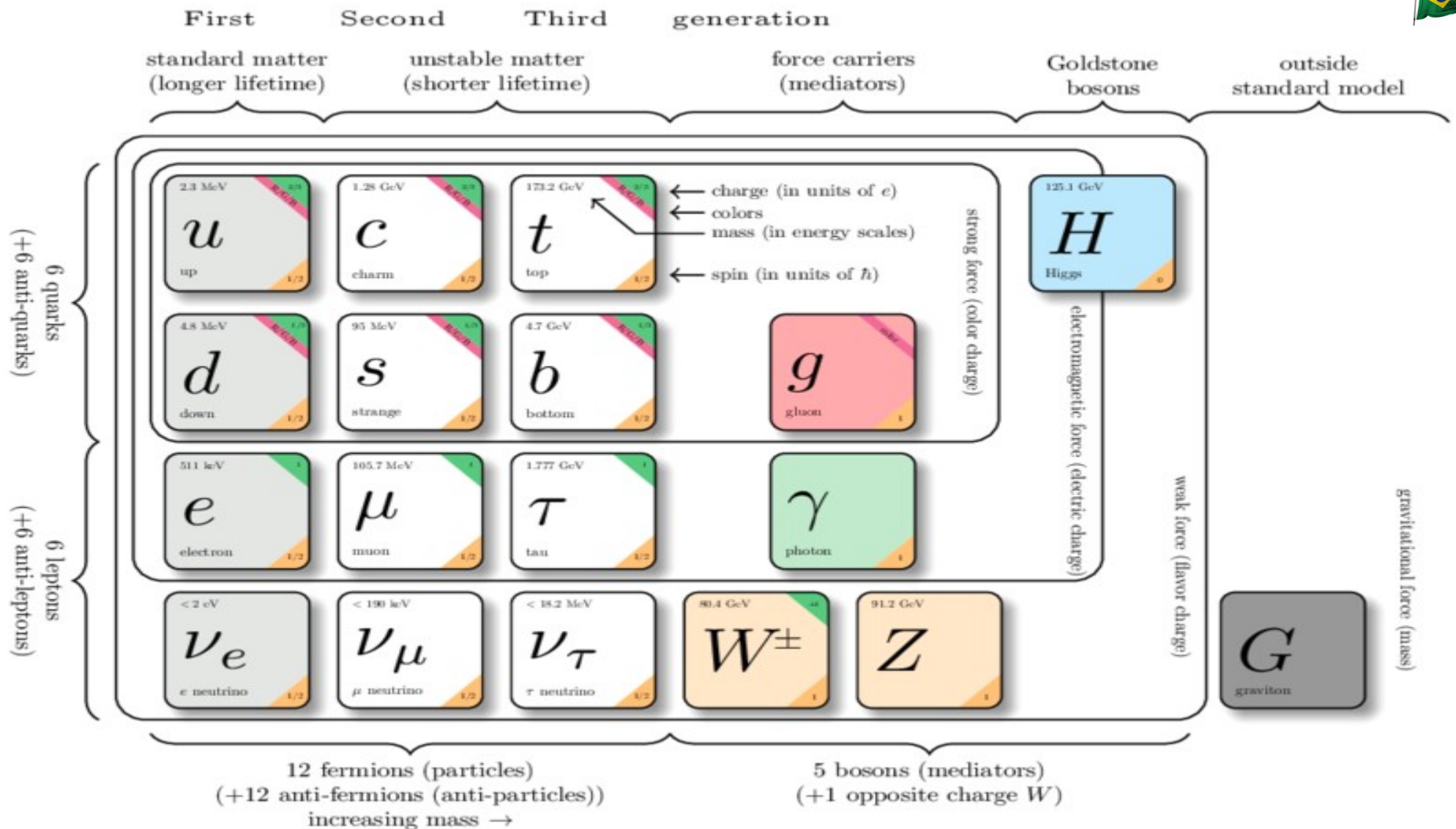
A standard periodic table of elements, showing the chemical elements arranged by atomic number and chemical properties.

10^{-9}

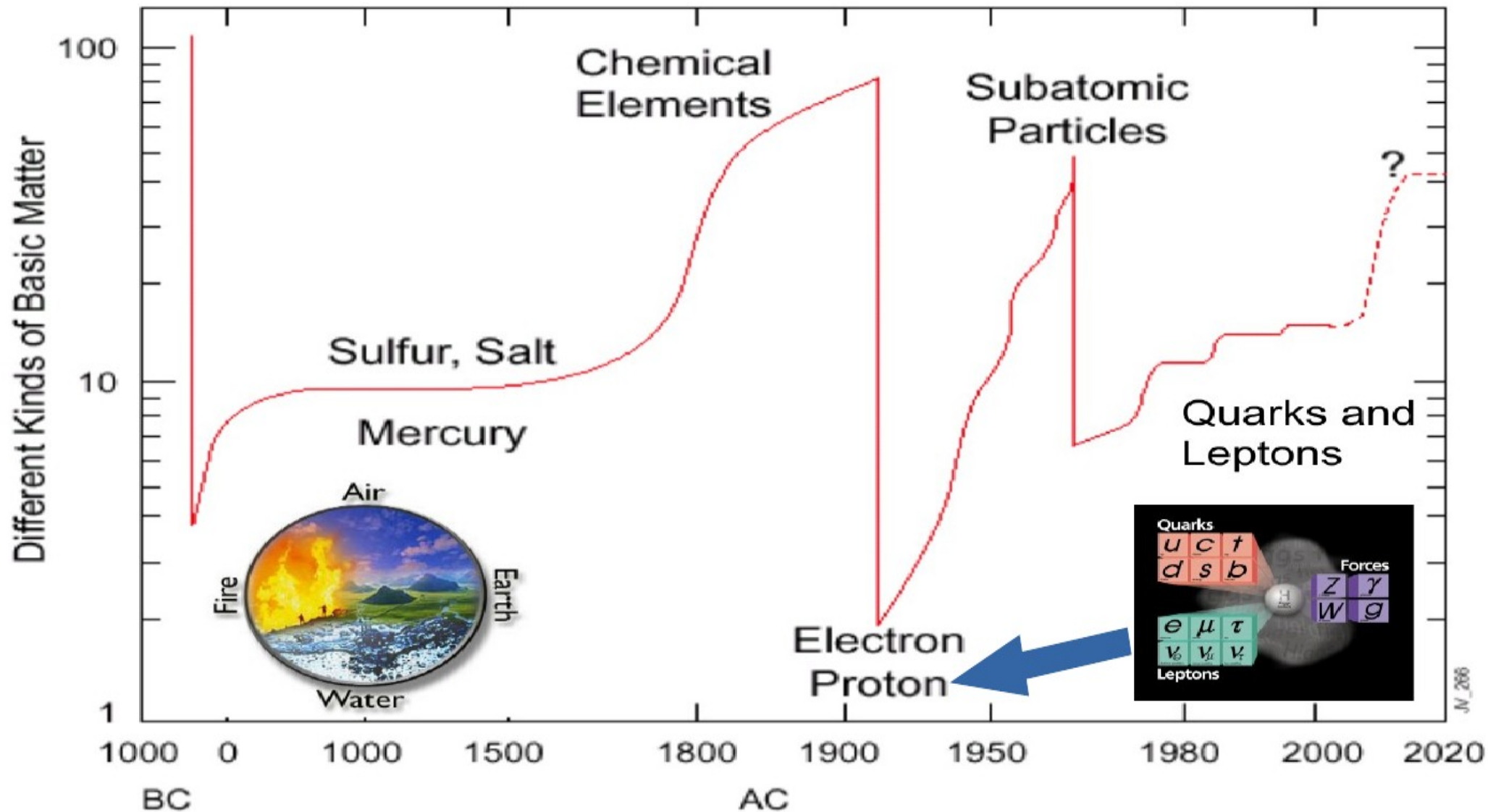
A table of elementary particles, showing the quarks, leptons, and gauge bosons.

u	c	t	γ
d	s	b	g
ν_e	ν_μ	ν_τ	Z
e	μ	τ	W

Modelo Padrão:



O PRÓTON segundo o Modelo Padrão: - Desafios atuais -



DESAFIOS:

#1 Descrição do próton no regime de altas energias

ENERGIA



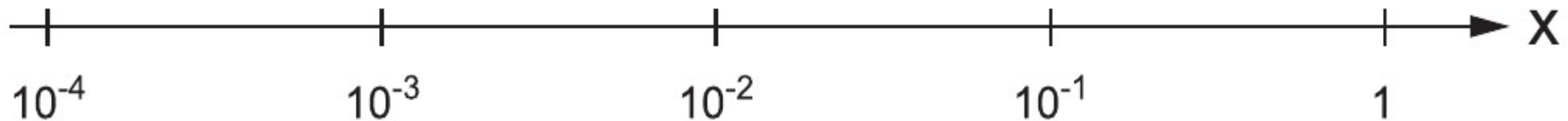
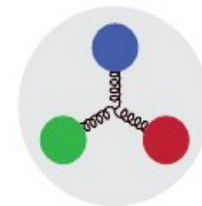
Non-Linear Dynamics
Regime



Radiation Dominated
Regime



Valence Quark
Regime

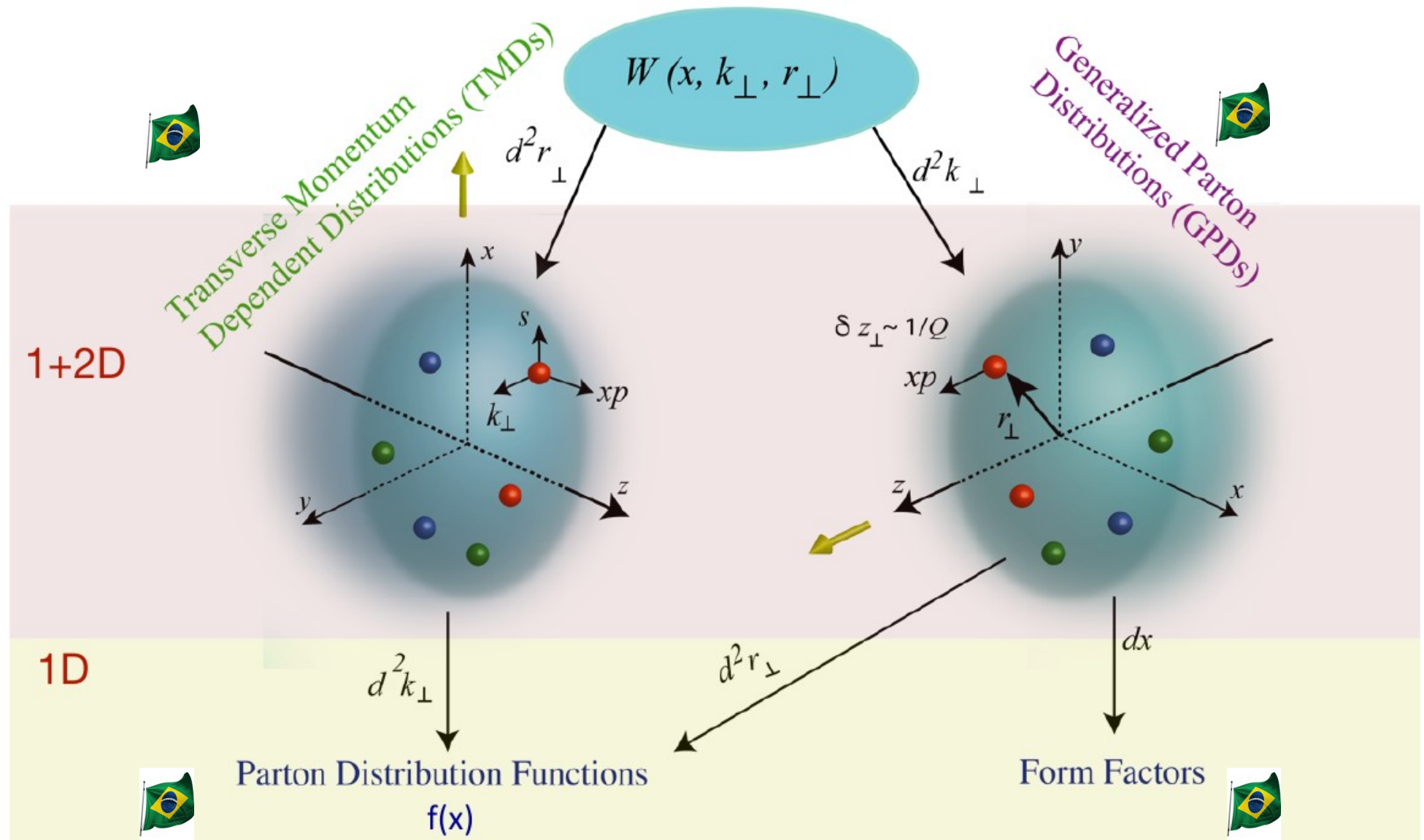


Recombinação de glúons ($gg \rightarrow g$) torna-se apreciável →
Efeitos não - lineares na dinâmica QCD! 🇧🇷

DESAFIOS:

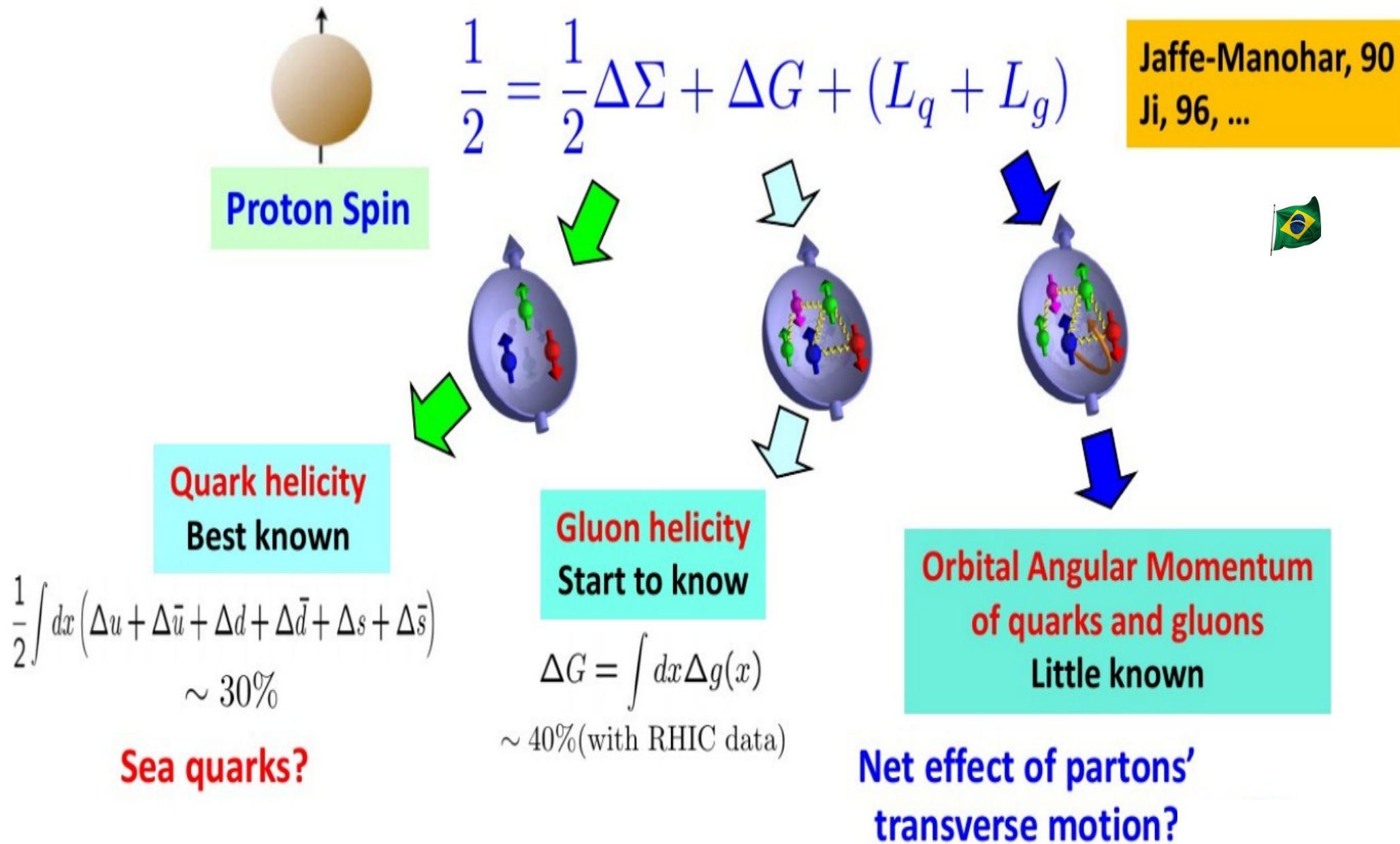
#2 Qual é a imagem multi-dimensional do próton?

Wigner Distributions



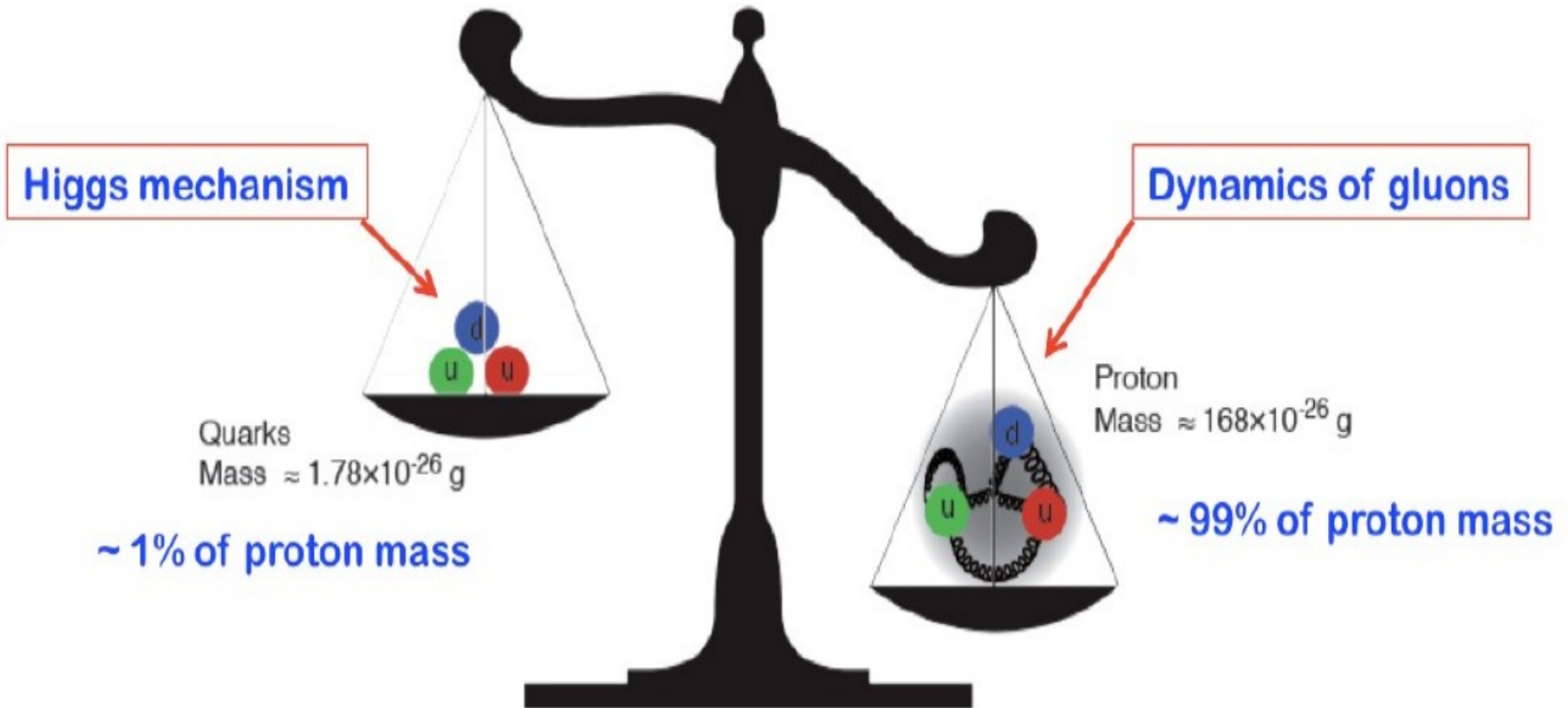
DESAFIOS:

#3 Como podemos descrever o spin do próton?



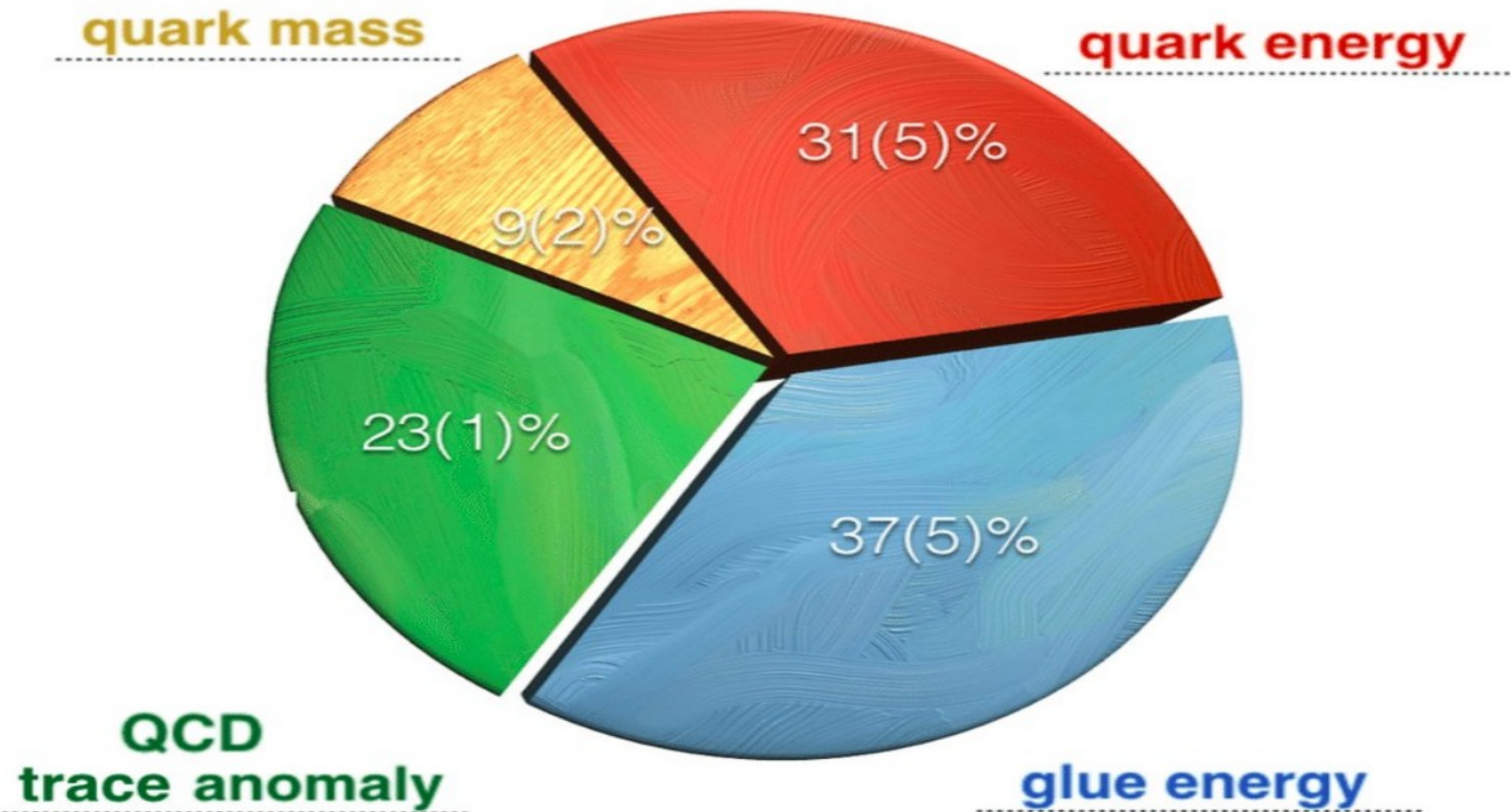
DESAFIOS:

#4 Como podemos descrever a massa do próton?



DESAFIOS:

#4 Como podemos descrever a massa do próton?



O PÍON segundo o Modelo Padrão:
- Desafios atuais -

O PÍON segundo o Modelo Padrão:

- Desafios atuais -

- Os desafios na compreensão da estrutura do próton também estão presentes no caso do píon!

O PÍON segundo o Modelo Padrão:

- Desafios atuais -

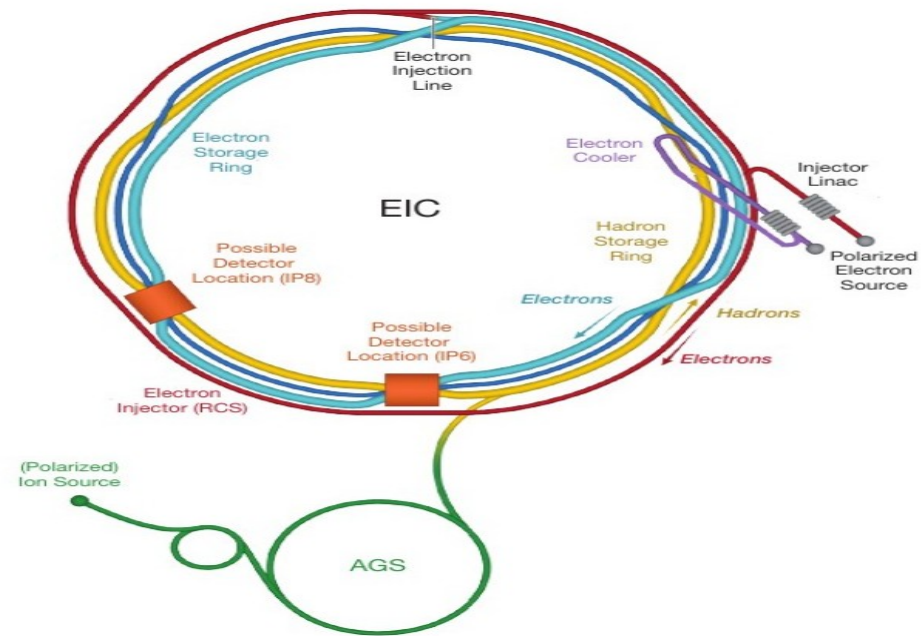
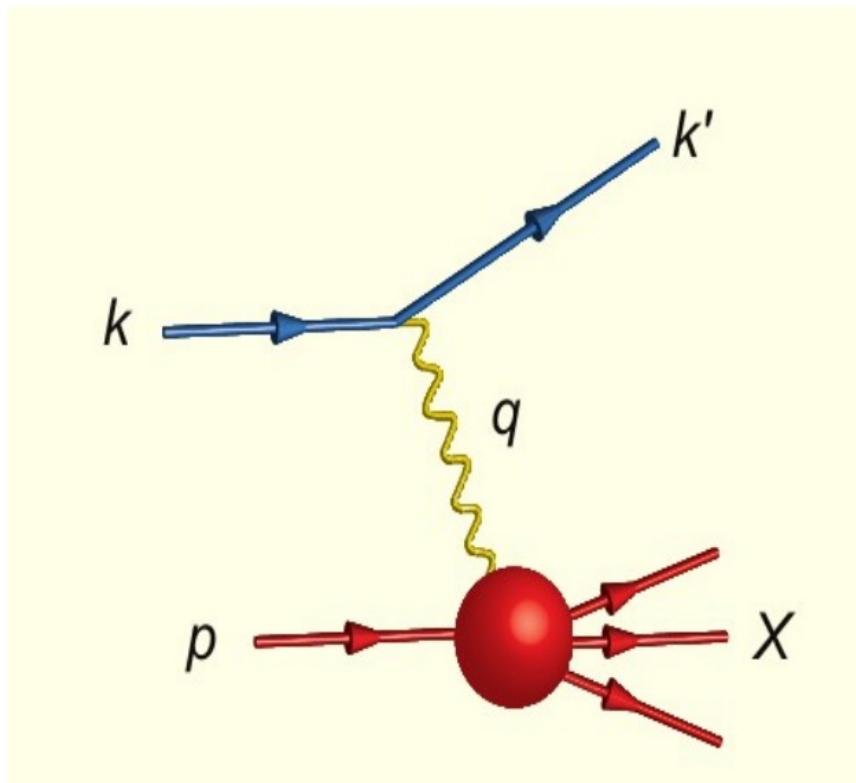
- Os desafios na compreensão da estrutura do próton também estão presentes no caso do píon!
- Adicionalmente, não temos um feixe de píons a nossa disposição.

O PÍON segundo o Modelo Padrão:

- Desafios atuais -

- Os desafios na compreensão da estrutura do próton também estão presentes no caso do pión!
- Adicionalmente, não temos um feixe de píons a nossa disposição.

UMA ALTERNATIVA:

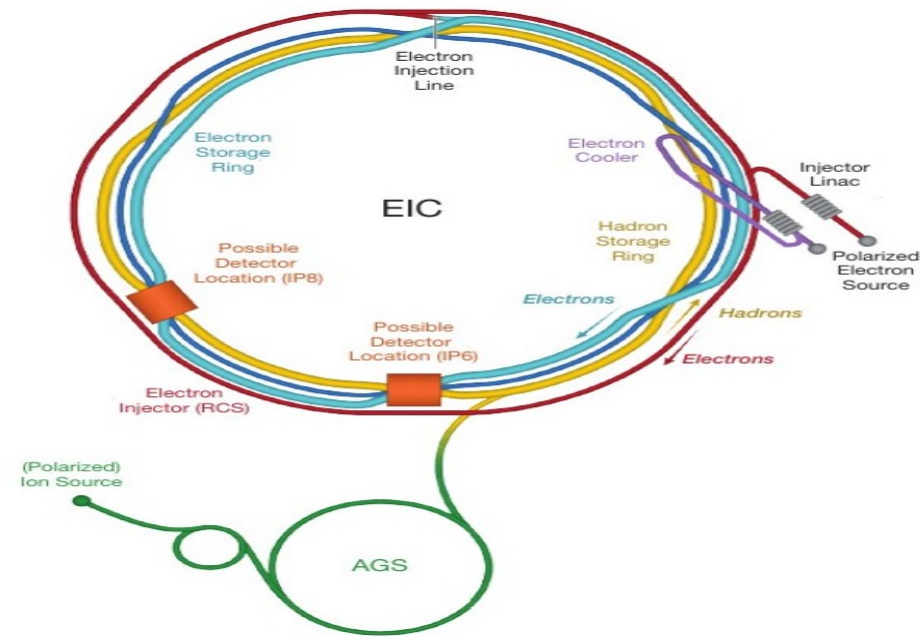
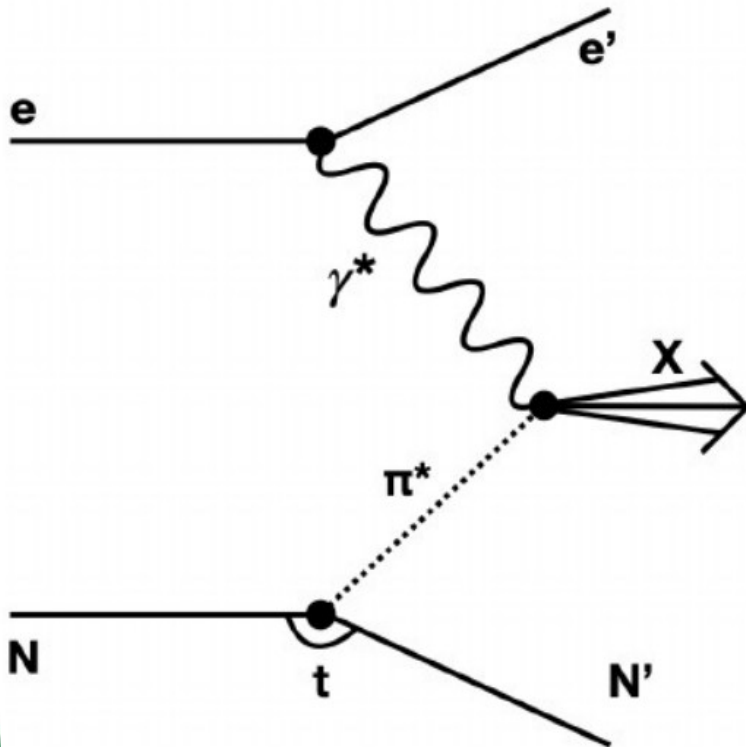


Electron - ion collider at BNL (USA)

O PÍON segundo o Modelo Padrão: - Desafios atuais -

- Os desafios na compreensão da estrutura do próton também estão presentes no caso do pión!
- Adicionalmente, não temos um feixe de píons a nossa disposição.

UMA ALTERNATIVA:



Electron - ion collider at BNL (USA)



Outro desafio atual:

- Estados exóticos -

Outro desafio atual: - Estados exóticos -

* O modelo de quarks foi proposto por Gell-Mann and Zweig sessenta anos atrás.

Volume 8, number 3

PHYSICS LETTERS

1 February 1964

AN SU_3 MODEL FOR STRONG INTERACTION SYMMETRY AND ITS BREAKING

A SCHEMATIC MODEL OF BARYONS AND MESONS *

M. GELL-MANN

California Institute of Technology, Pasadena, California

Received 4 January 1964

If we assume that the strong interactions of baryons and mesons are correctly described in terms of the broken "eightfold way" ¹⁻³, we are tempted to look for some fundamental explanation of the situation. A highly promised approach is the purely dynamical "bootstrap" model for all the strongly in-

teractions. The most interesting example of such a model is one in which the triplet has spin $\frac{1}{2}$ and $z = -1$, so that the four particles d^+ , s^+ , u^0 and b^0 exhibit a parallel with the leptons.

A simpler and more elegant scheme can be

G. Zweig *)

CERN - Geneva

ABSTRACT

Both mesons and baryons are constructed from a set of three fundamental particles called aces. The aces

* Hadrons exóticos, distintos dos mesons $q\bar{q}$ e dos barions qqq também foram propostos naquela época!



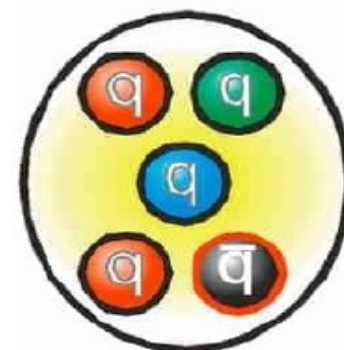
Glueball



Hybrid meson



Tetraquark



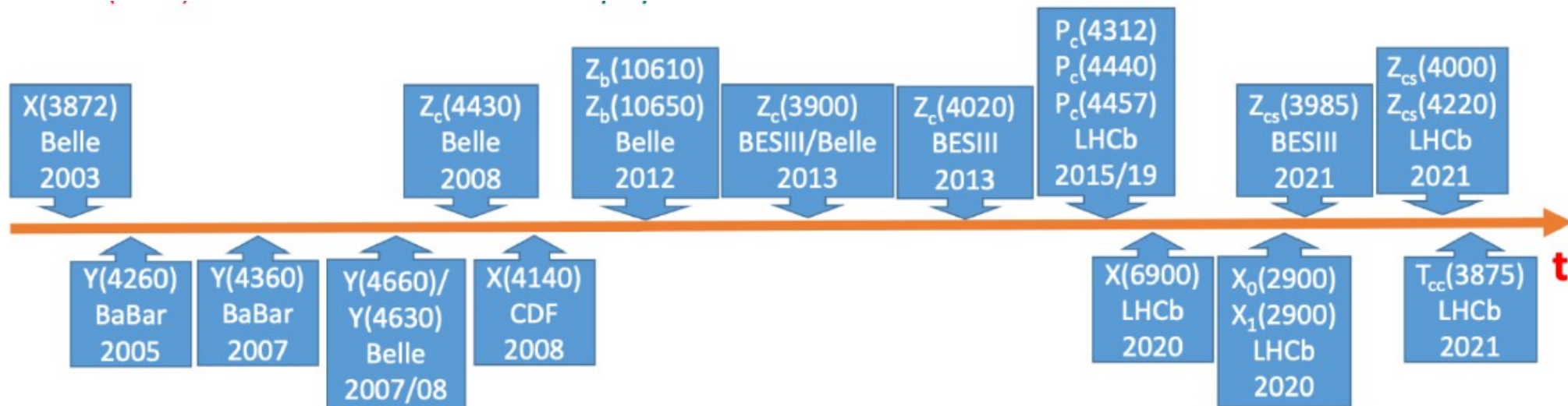
Pentaquark

Outro desafio atual:

- Estados exóticos -

ESTADOS DE QUARKONIUM EXÓTICOS: classe de hadrons que decaem em estados finais que contem um quark e um antiquark pesado mas que não podem ser facilmente acomodados nos estados não ocupados formados por $Q\bar{Q}$.

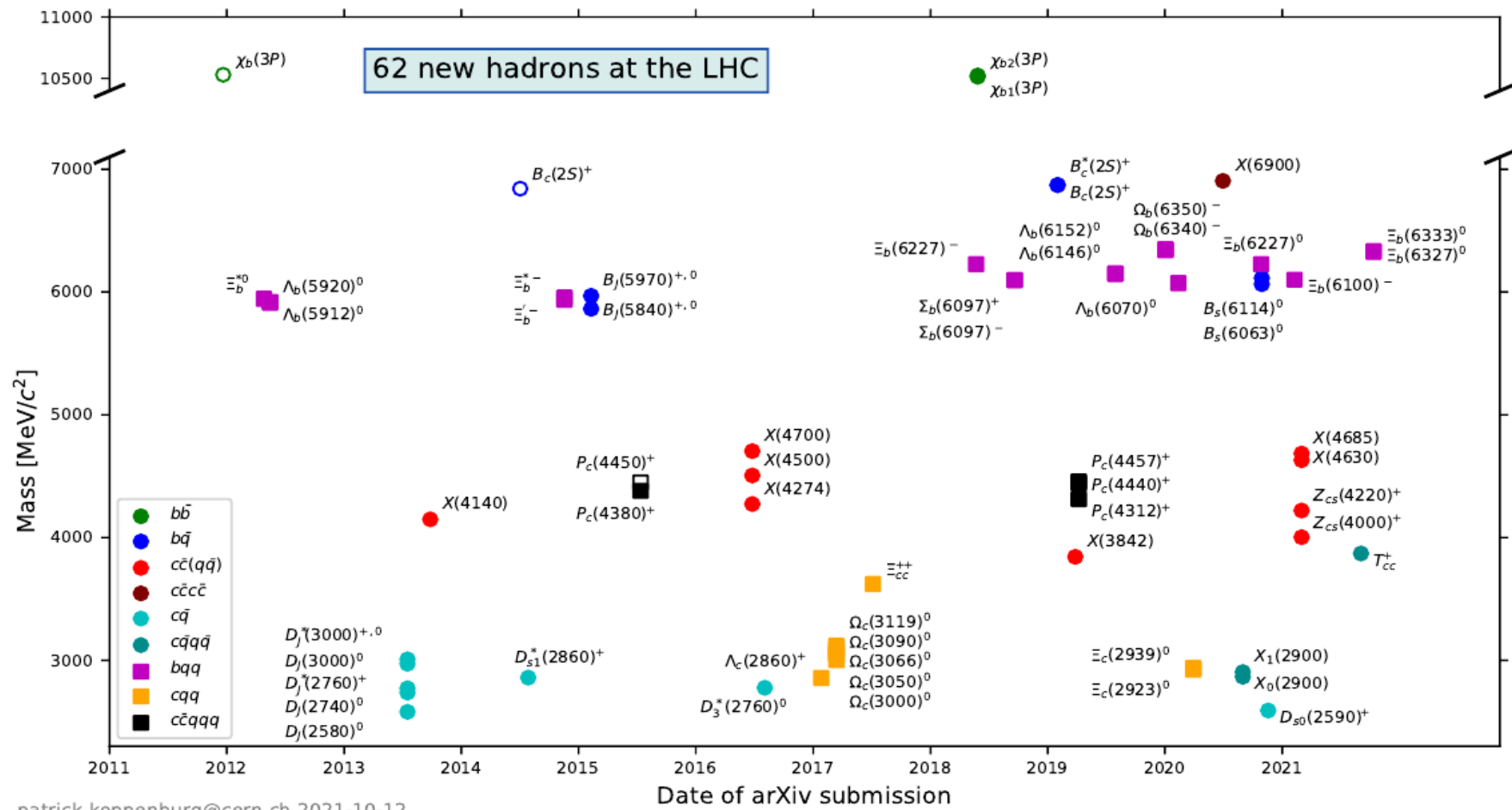
Desde a descoberta do $X(3872)$, vivemos uma era dourada na descoberta de estados exóticos.



Outro desafio atual:

- Estados exóticos -

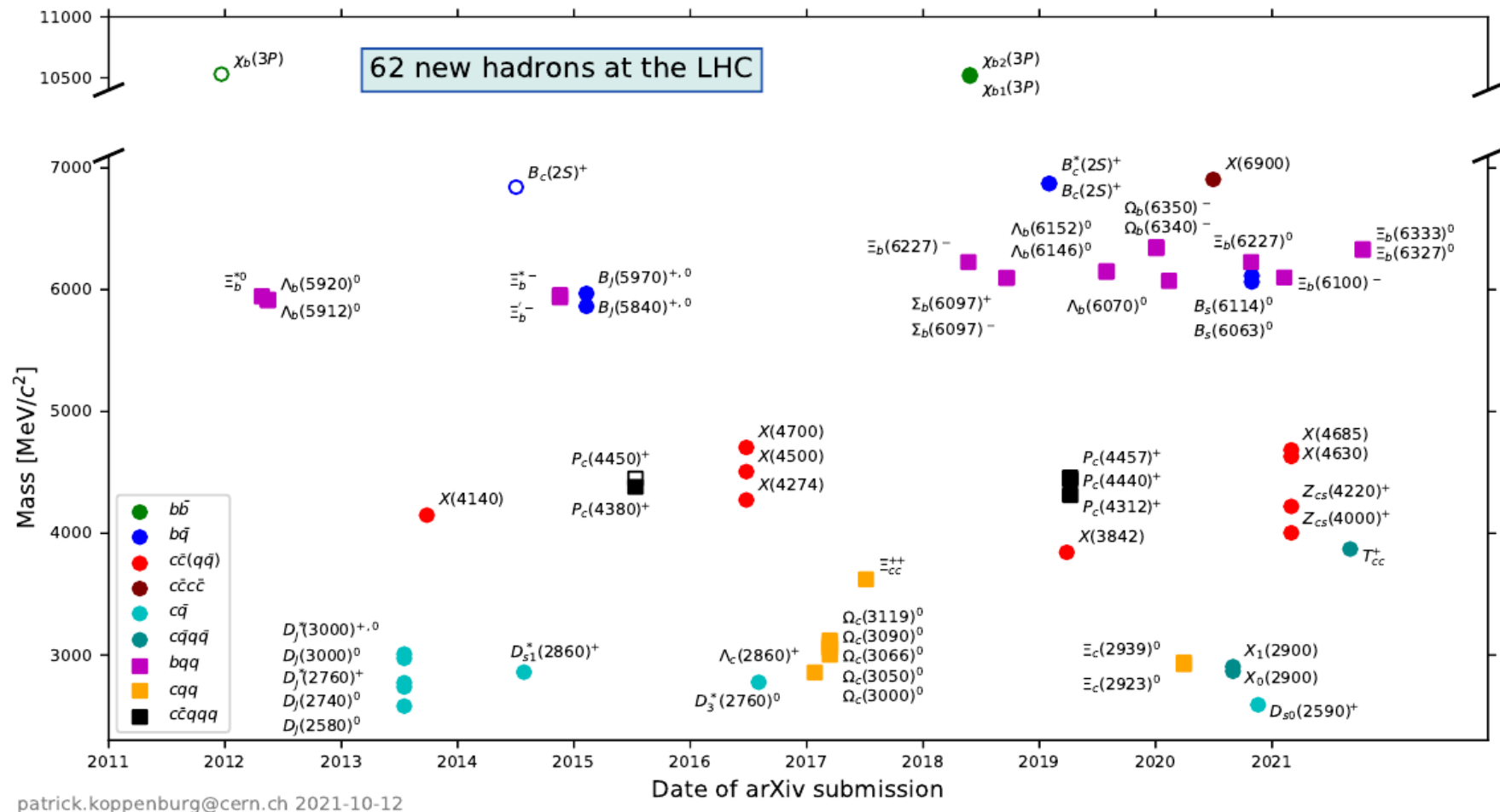
No LHC:



Outro desafio atual:

- Estados exóticos -

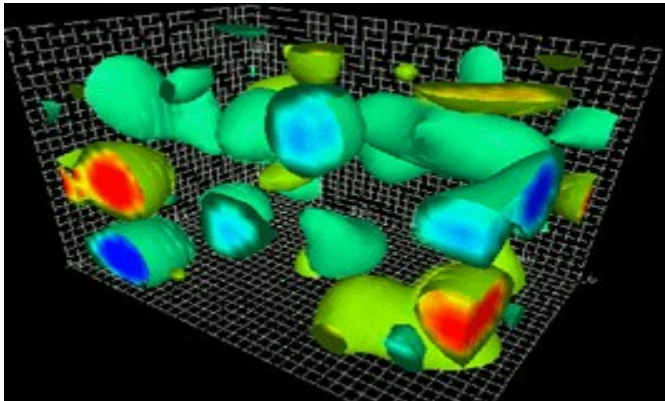
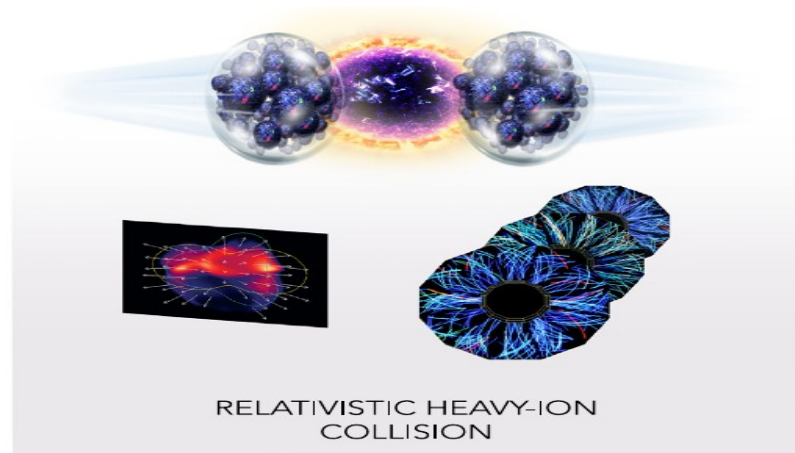
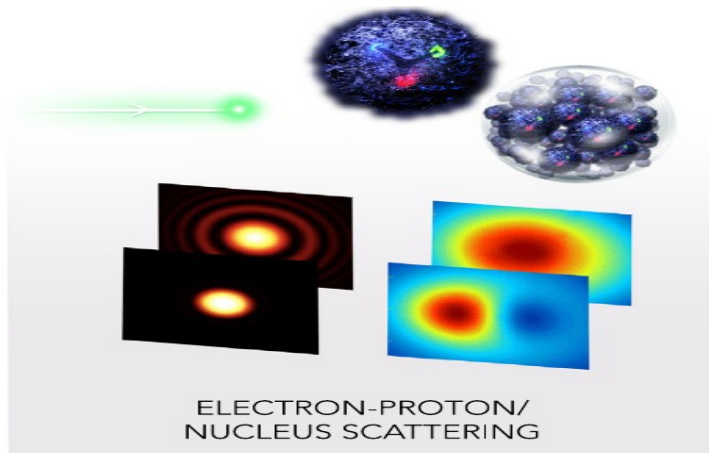
No LHC:



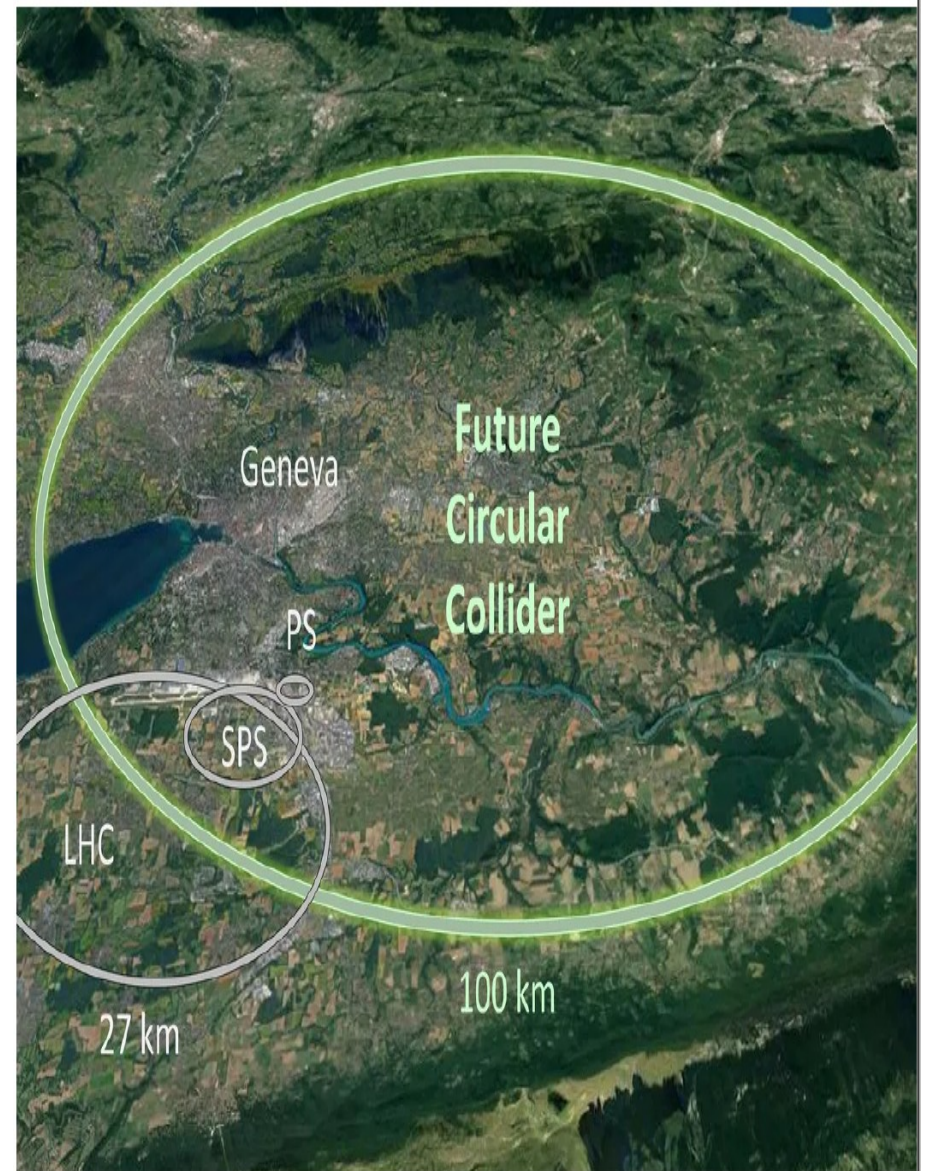
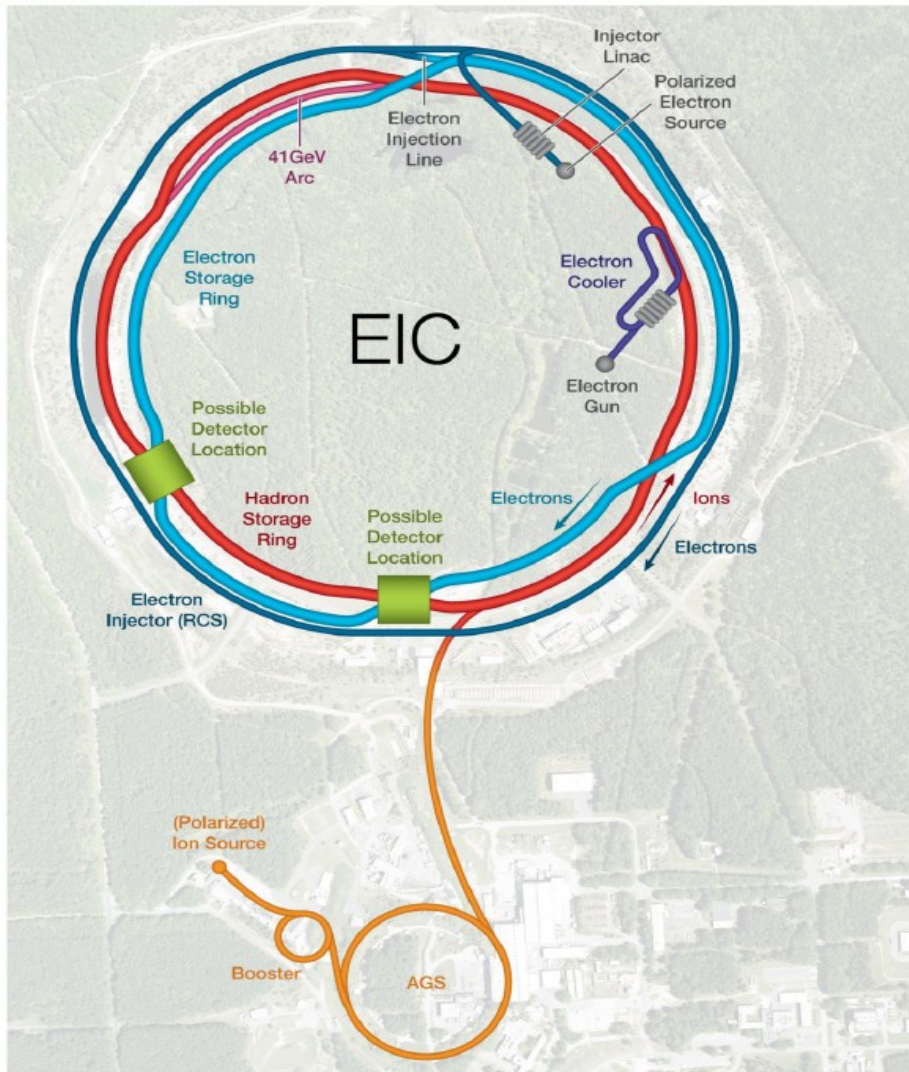
Ainda não temos uma explicação sólida destes estados!

Ao invés de
conclusões ...

Física de hádrons no Brasil



Física de hádrons no Brasil



Física de hádrons no Brasil

How (different) Physicists See the World ?

Theoretical physicist



$$\int \frac{d^4x}{(2\pi)^4} \sin^2 Q_\mu dz \int ds (s - M_Z^2) \delta(e^+e^- \rightarrow \mu\mu) \frac{\Lambda^4}{Q^4}$$

$$- \sum e^2 Q^2 \frac{\Gamma_\mu^2}{(s - M_Z^2)^2 \epsilon^2} \cdot \frac{x_0}{s} e^{\frac{Q^2}{\Lambda^2}}$$

$$- \int \int \frac{d^4x}{d^4x} g(x_1, x_2, \mu^2) g_{\mu\nu} e^{-i k Q^2} d^4x$$

$$+ \prod_{i=1}^n \langle v_i | v_\mu \rangle \langle v_\mu | (1 - \gamma_5) \rangle \frac{1}{\epsilon - x}$$

$$+ \int \frac{x^2}{1+x-x-\mu^2} F Q^2 W(\mu^2, s)$$

$$= 115 \text{ GeV}$$

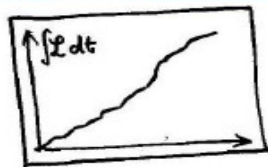
"This does not necessarily mean that this is the Higgs mass"



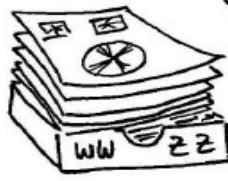
Accelerator physicist

"We have decided now to identify the particle species by a bar code!"

Experimental physicist (analysis oriented)



no comment



Experimental physicist (detector oriented)

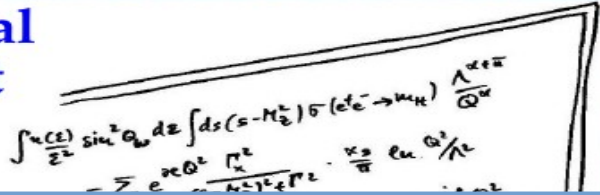


"Did you see it?"
"No nothing."
"Then it was a neutrino!"

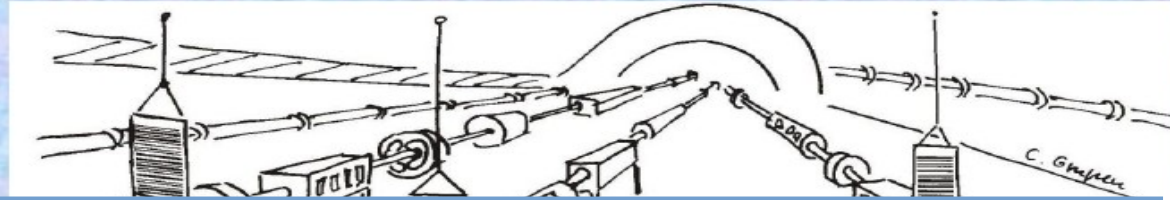
Física de hádrons no Brasil

How (different) Physicists See the World ?

Theoretical
physicist



Hand-drawn mathematical equations on a chalkboard, including integrals and particle physics symbols like Q^2 , z , M_Z^2 , $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$, and $\frac{1}{Q^2}$.



A integração da nossa comunidade é fundamental para continuarmos crescendo e fazendo ciência no padrão César Lattes!



Obrigado pela atenção!