

Medida de raios cósmicos

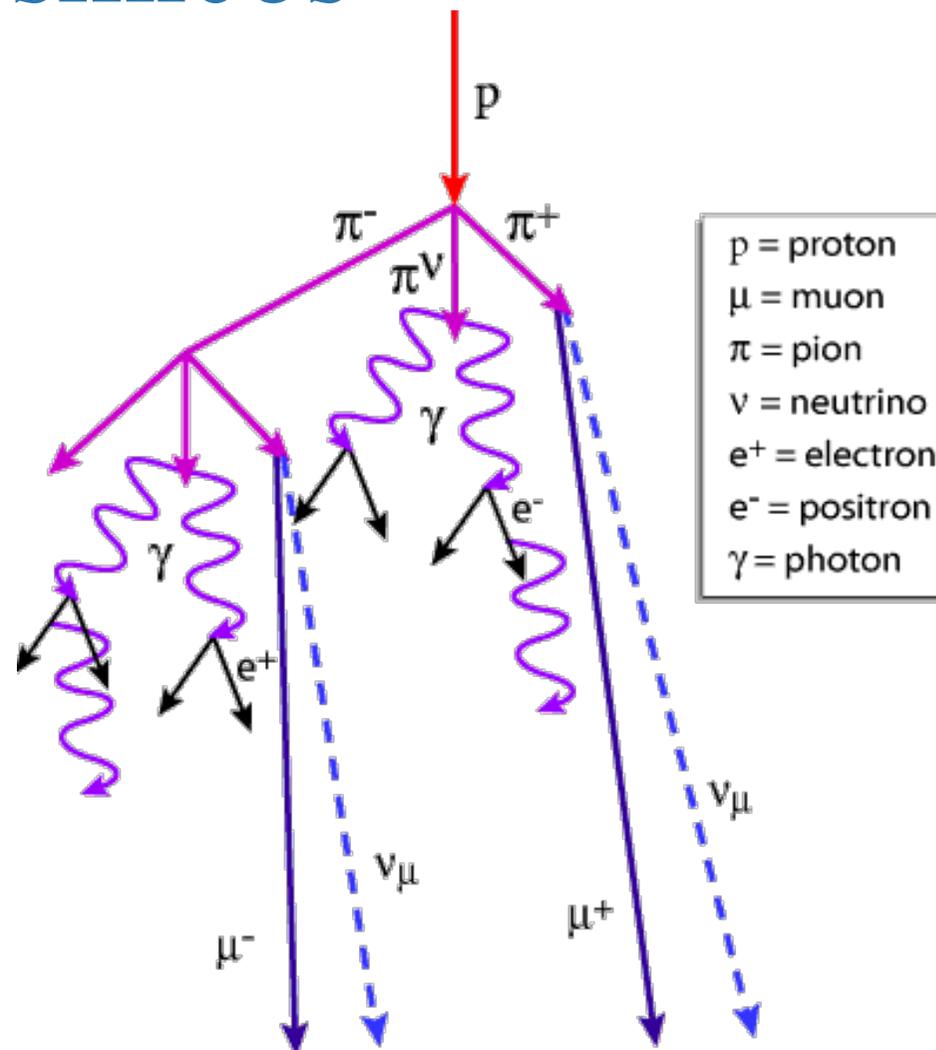
Técnicas Experimentais em Física de
Partículas Elementares

2016



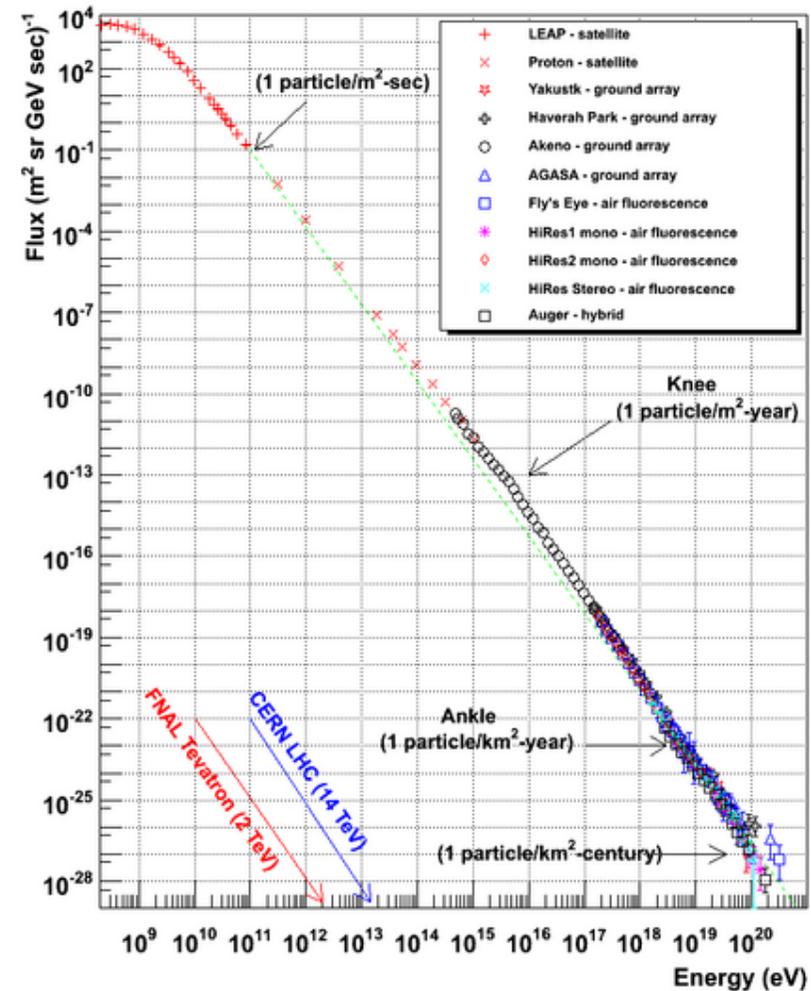
Raios cósmicos

- Partículas extraterrestres que atingem o planeta
 - ~89% p
 - ~9% He
 - ~1% elétrons
 - ~1% núcleos pesados
- Interação na atmosfera criando chuvenhos
 - A nível do mar, por conta dos chuvenhos, a maioria das partículas são múons



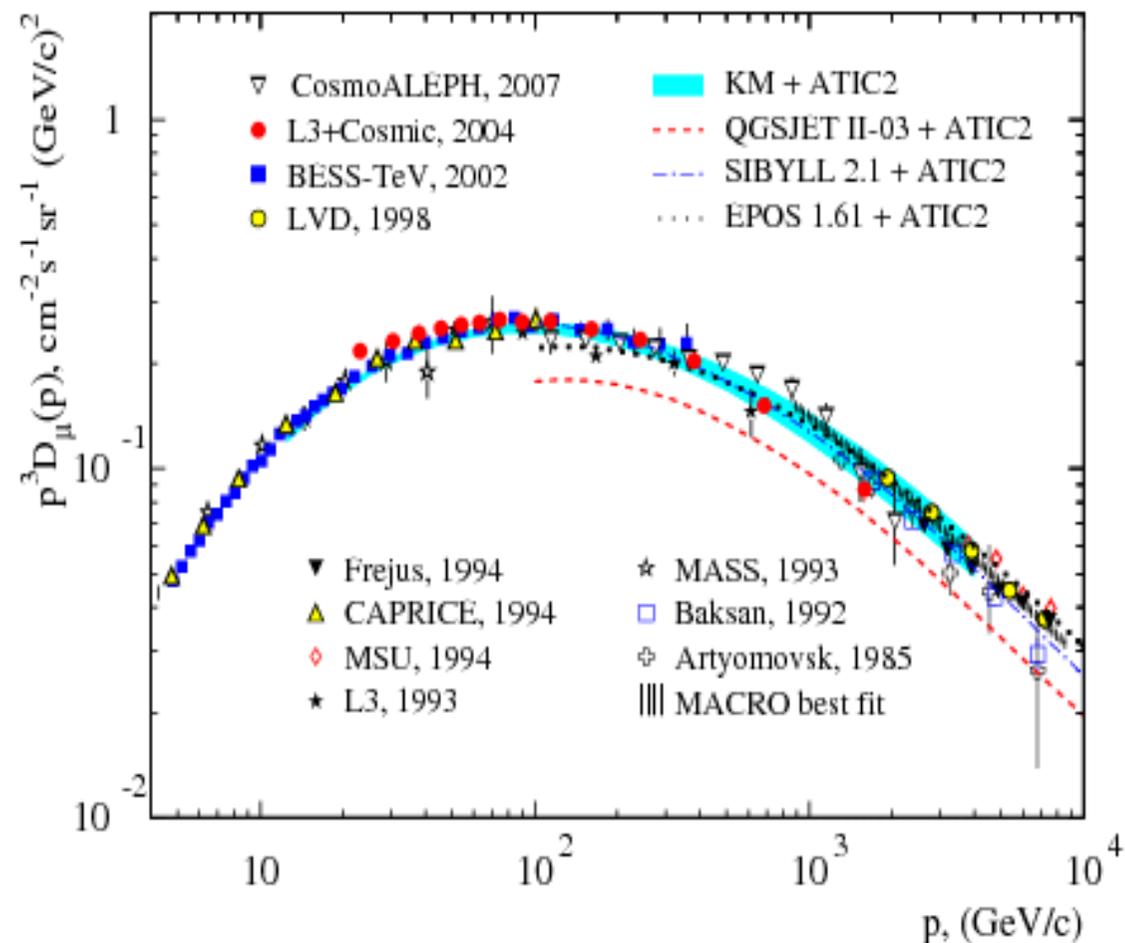
Raios cósmicos

- Raios cósmicos podem ser muito energéticos
- 7-8 ordens de grandeza mais energéticos que no LHC



Raios cósmicos

- A nível do mar a maioria das partículas observadas são múons
 - Momento mais provável pouco menor de 100 GeV/c



O que são múons?

- Um dos léptons do Modelo Padrão
 - Férmion (spin $\frac{1}{2}$)
- Instável, decai em elétron + neutrinos
 - Vida média de $\sim 2.2 \mu\text{s}$
 - Próximo experimento

Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge→	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin→	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name→	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z^0 weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm weak force

Bosons (Forces)

Objetivos do experimento

- Realizar medida de múons (?) de raios cósmicos
 - Medir a velocidade média destas partículas
 - Medir a taxa de contagem destas partículas
- Familiarização com o uso de cintiladores plásticos

Como detectamos partículas?

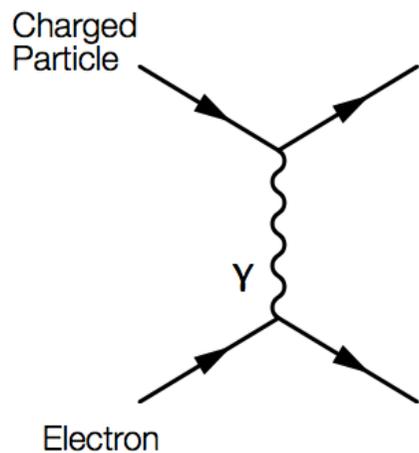
- Interação da partícula com o meio de detecção.
 - Parte da (ou toda) energia da partícula é depositada no meio
 - Depende do tipo de partícula
- Transformação desta energia em sinal elétrico
- Processamento desta informação

Interação de partículas com a matéria

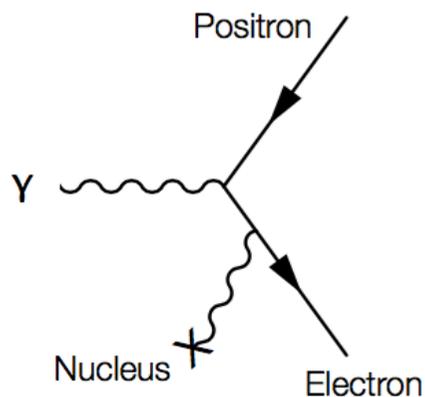
Tipo de partícula	Processo de interação
Fótons	Efeito fotoelétrico, espalhamento Compton, produção de pares
Partículas carregadas elétrons, múons, próton, He, Li, etc.	Ionização do meio, Bremsstrahlung,...
Hádrons píons, káons, prótons, nêutrons, ...	Interações nucleares
neutrinos	Interações fracas

Exemplos

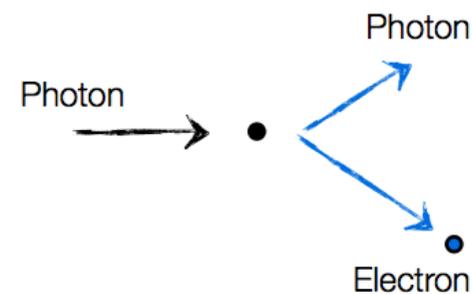
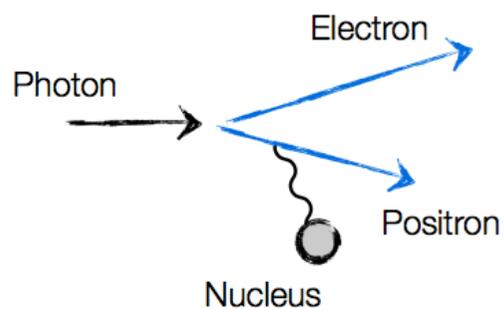
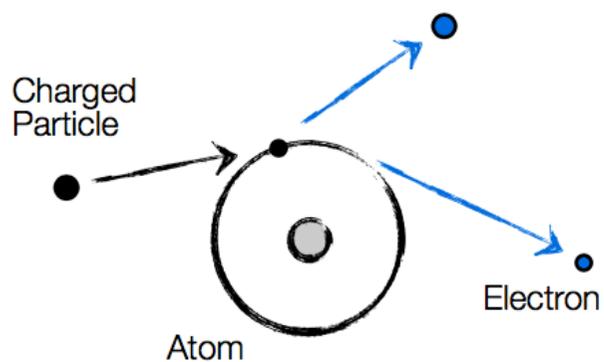
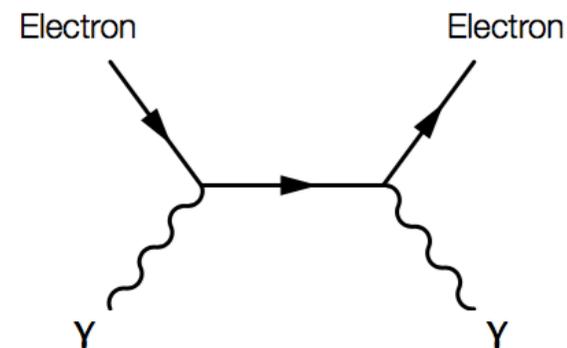
Ionização



Produção de pares



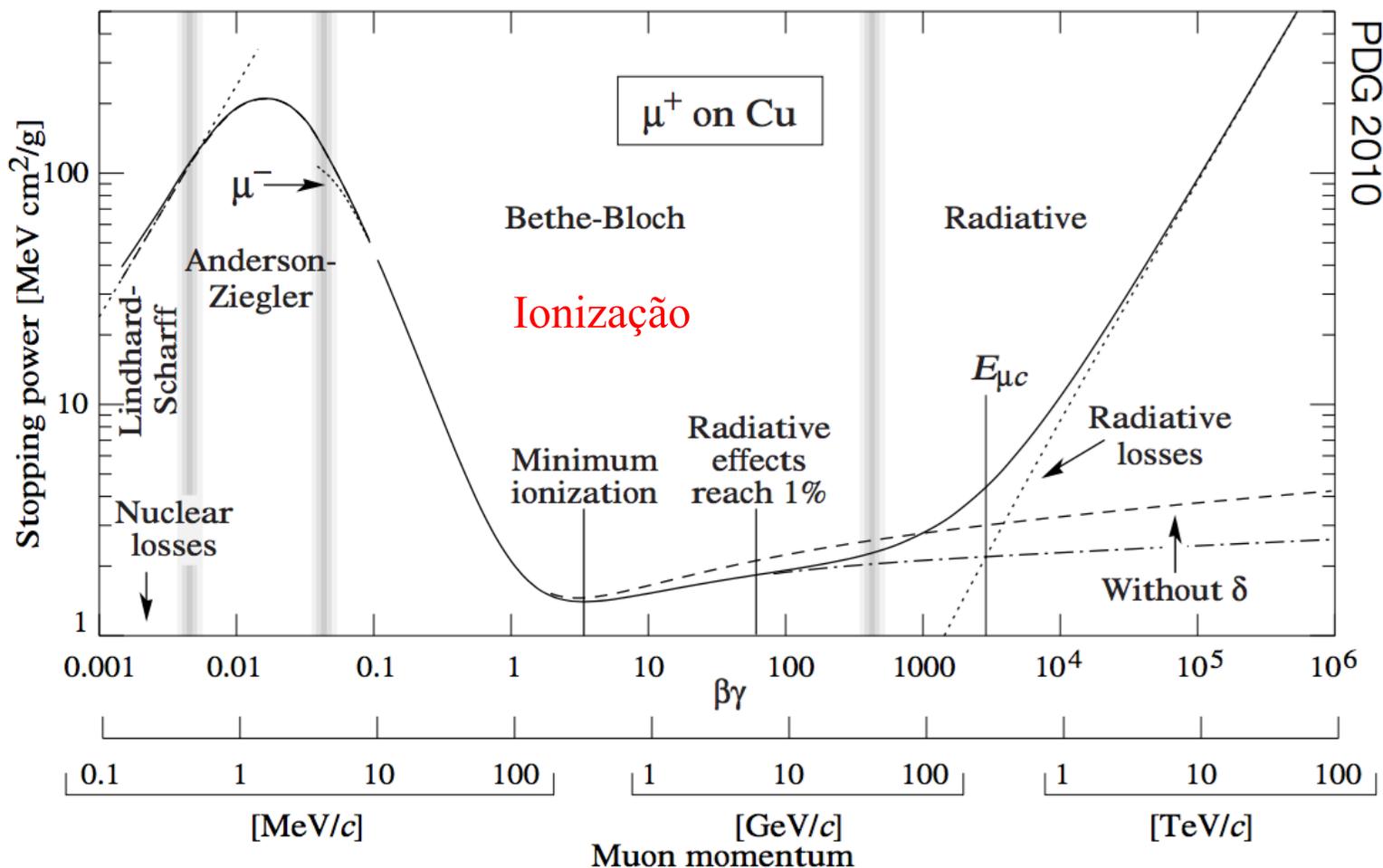
Espalhamento Compton



Partículas carregadas

- Processos eletromagnéticos dominam
 - Ionização do meio
 - Energia é transferida produzindo elétrons
 - Processo dominante para múons de $\sim 0.01 - 100 \text{ GeV}/c$
 - Bremsstrahlung
 - Partículas carregadas aceleradas perdem energia por emissão de raio-X
 - Muito importante para elétrons $-dE/dx \propto \frac{E}{m^2}$
 - Torna-se importante para múons com momentos maiores que $\sim 100 \text{ GeV}/c$

Perda de energia de múons em cobre



Perda de energia por ionização

- Fórmula de Bethe-Bloch

H. Bethe and J. Ashkin in "Experimental Nuclear Physics", ed. E. Segré, J. Wiley, New York, 1953, p. 253.

$$-\frac{dE}{dx} = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left(\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{\max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right)$$

$$K = 0.307 \text{ MeV g}^{-1} \text{ cm}^2$$

T_{\max} = máxima energia transferida em uma única colisão

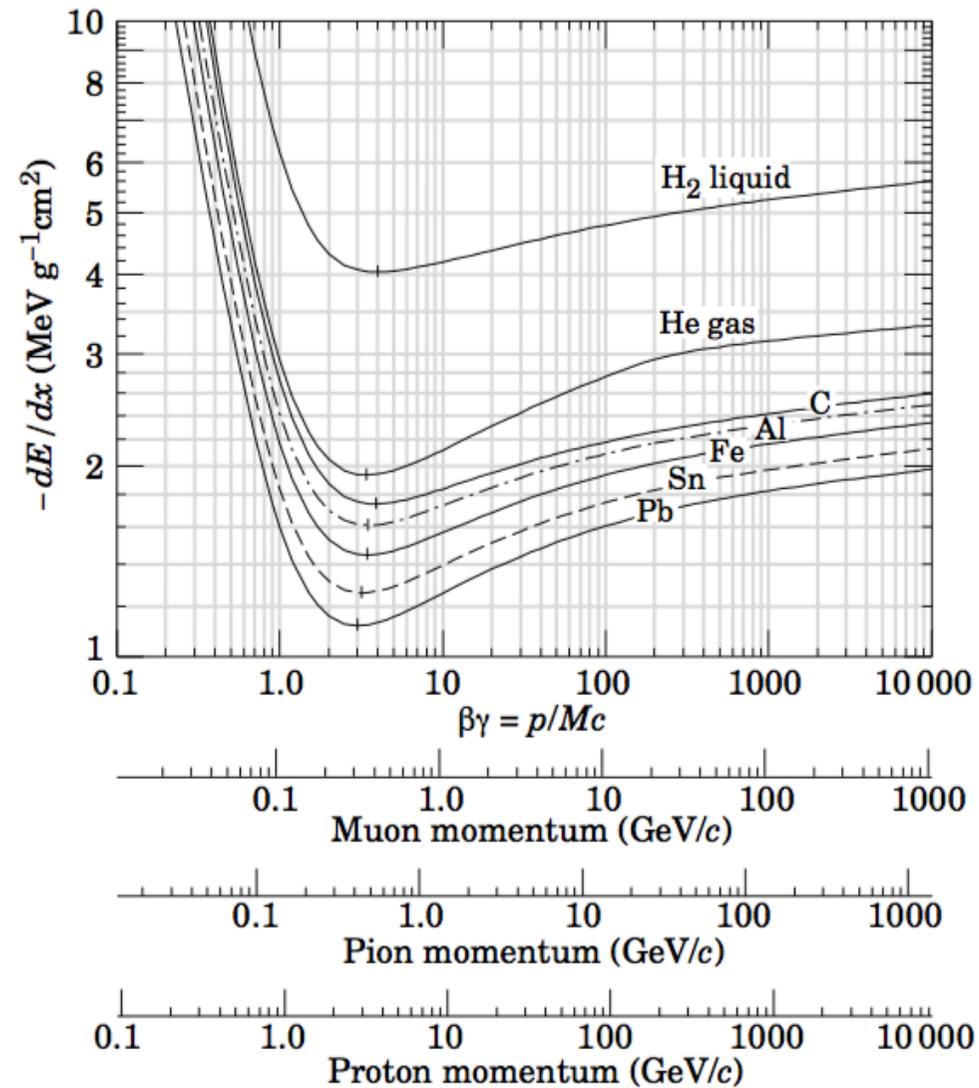
z = carga da partícula incidente

Z, A = carga e número atômico do meio

I = energia média de excitação do meio

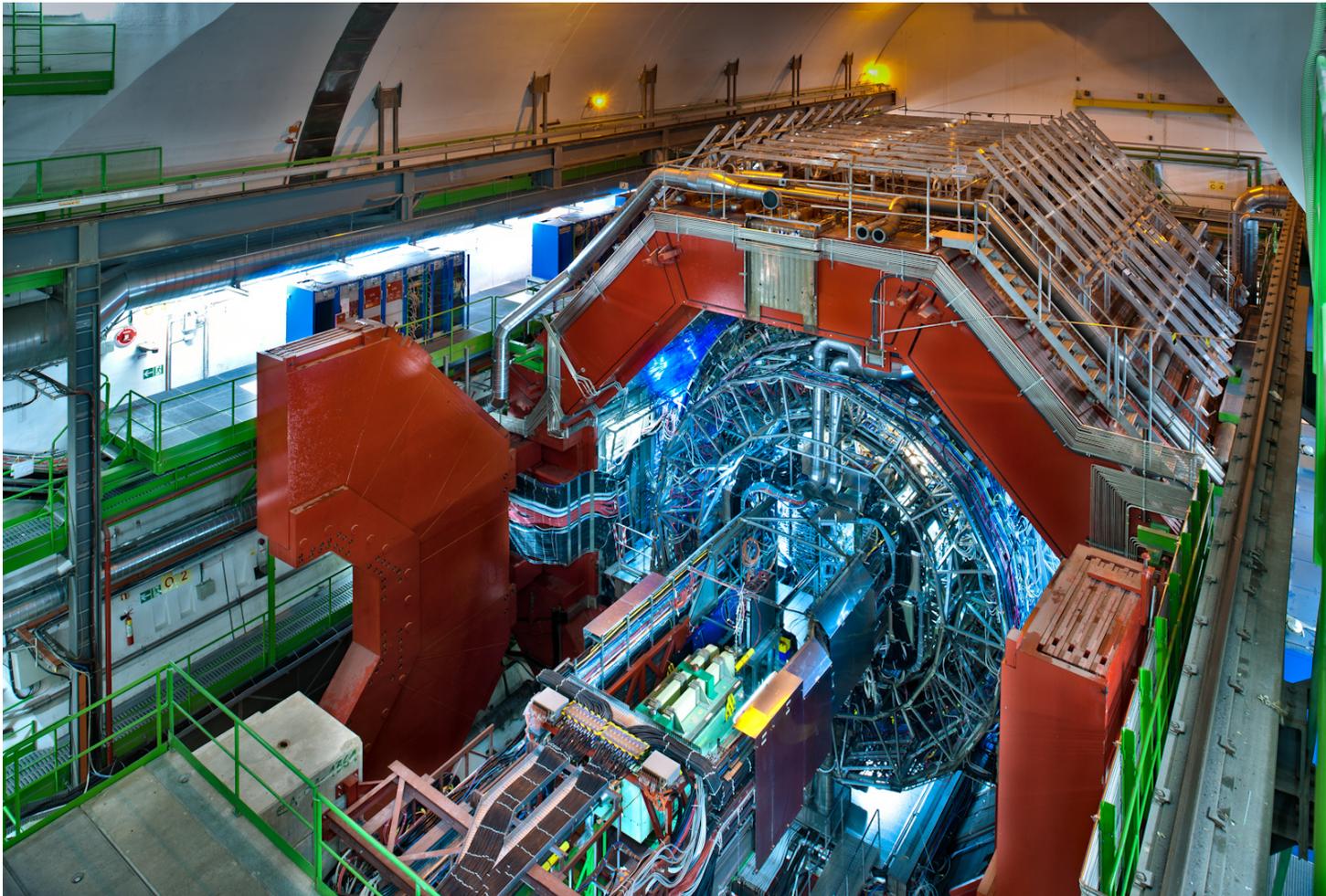
δ = correção devido à densidade

Perda de energia em em diversos materiais



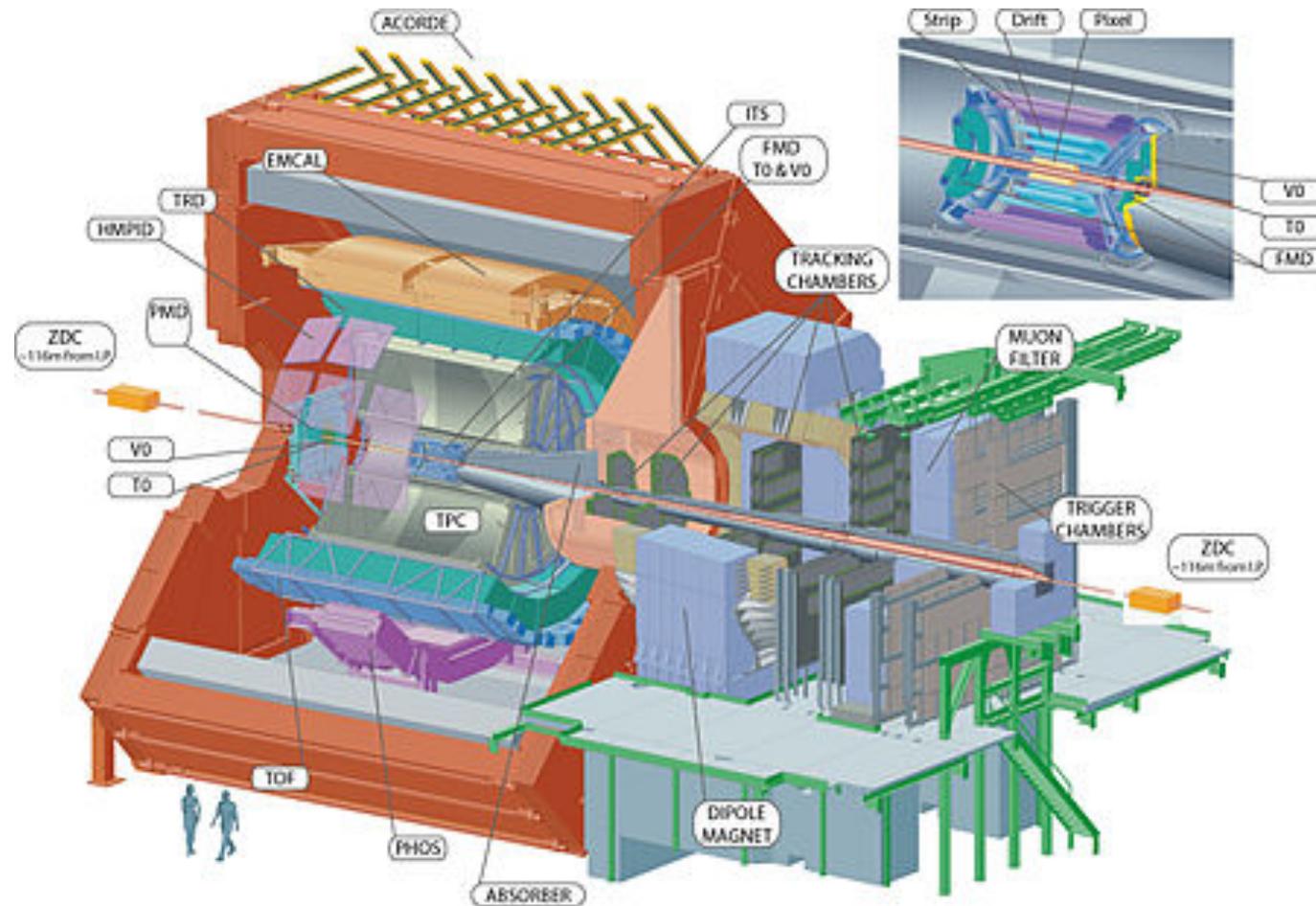
Como usamos isto na prática?

ALICE TPC – Perda de energia no gás



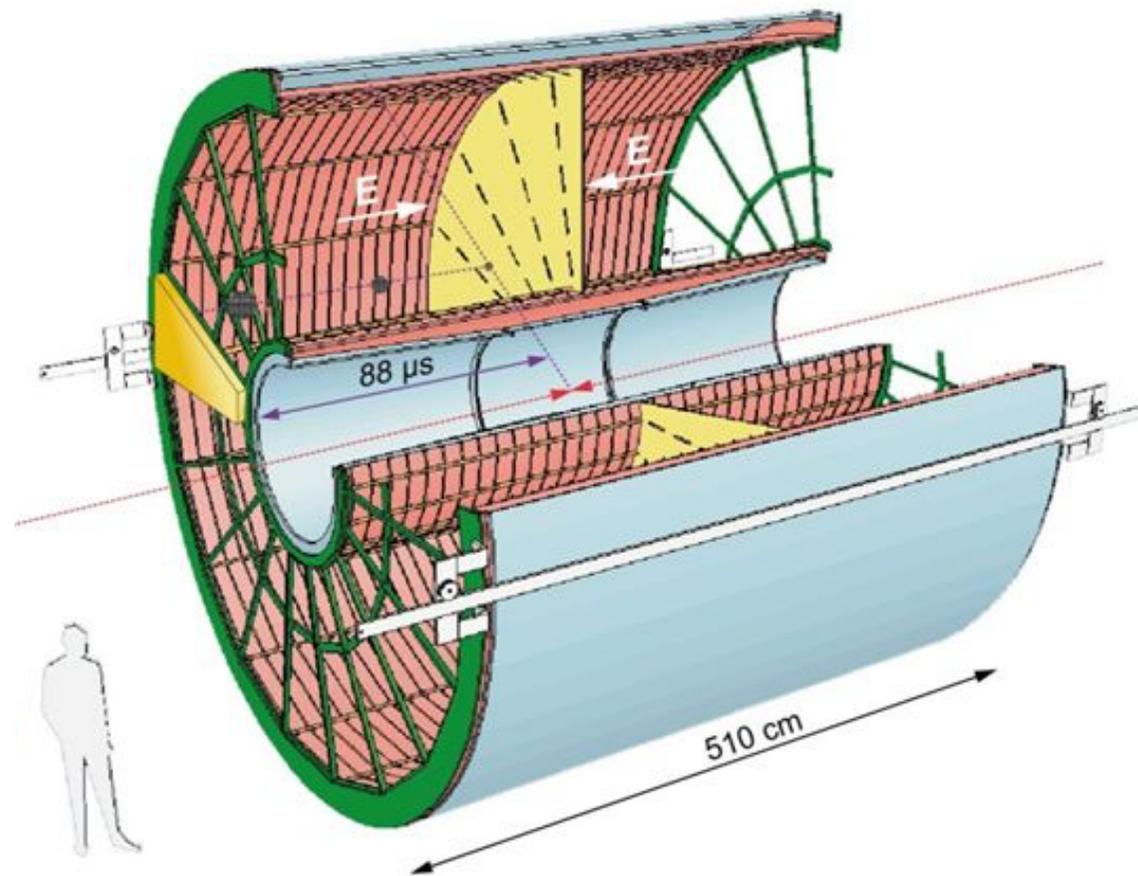
Como usamos isto na prática?

ALICE TPC – Perda de energia no gás



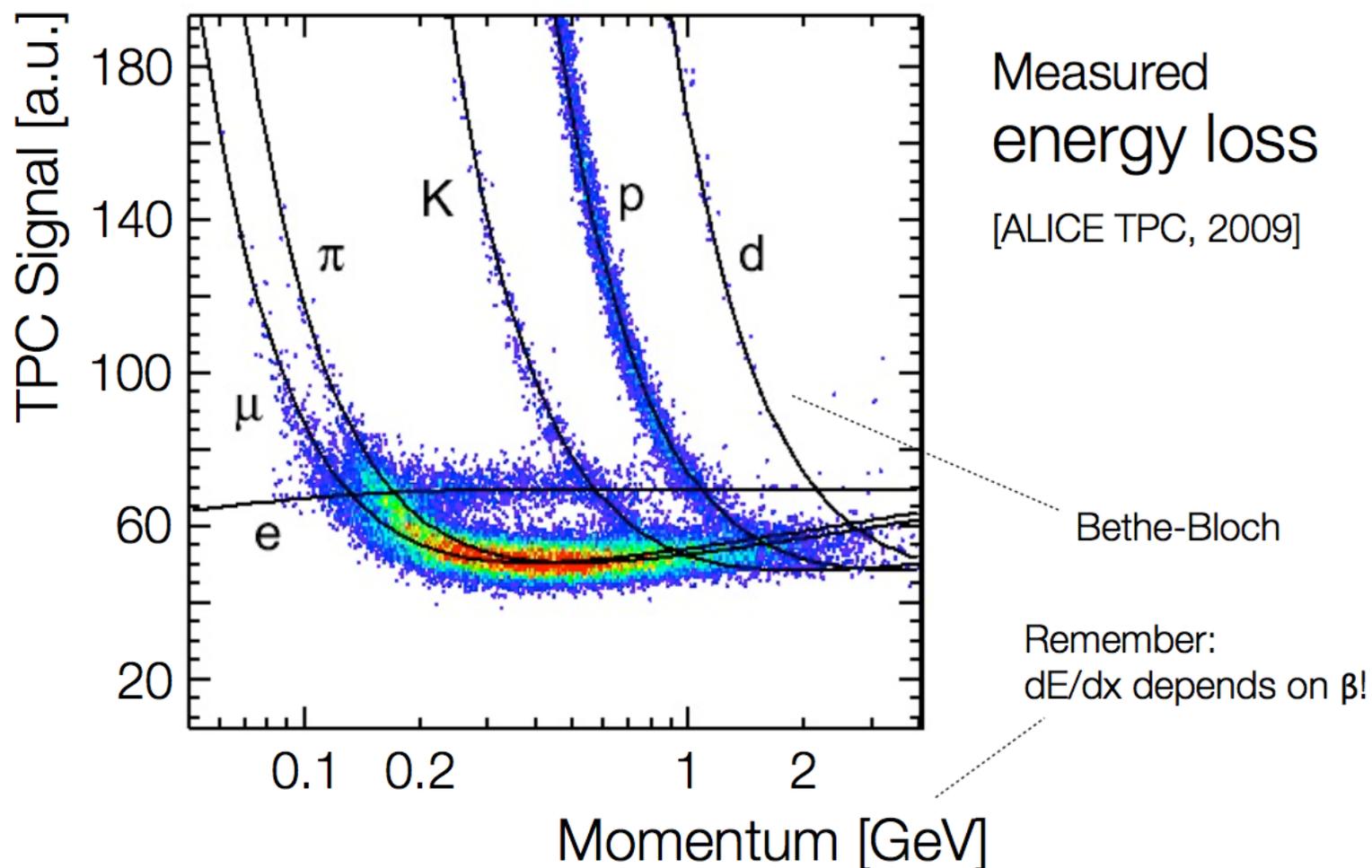
Como usamos isto na prática?

ALICE TPC – Perda de energia no gás



Como usamos isto na prática?

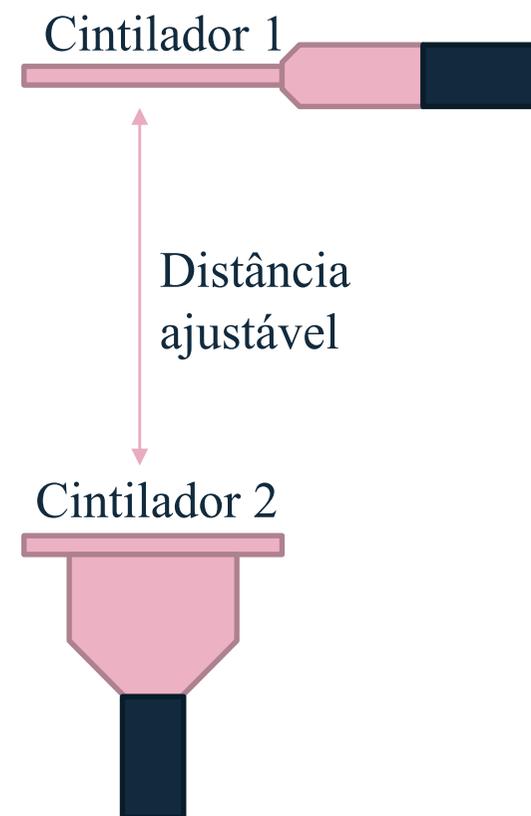
ALICE TPC – Perda de energia no gás



O nosso experimento

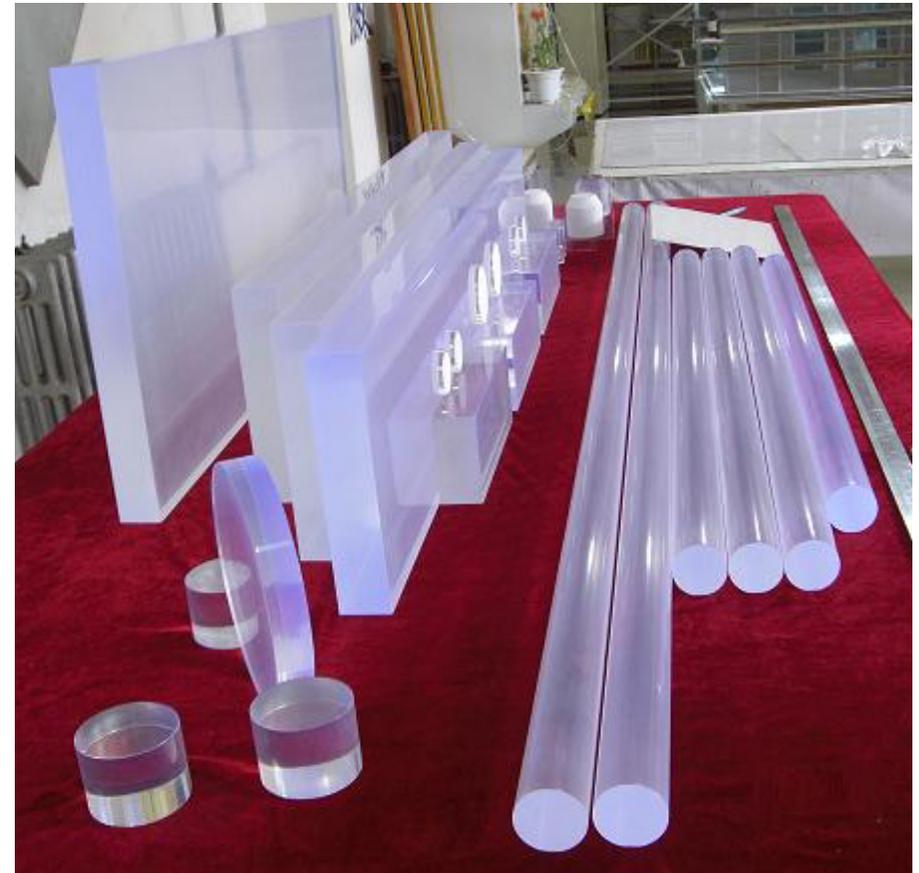
- Dois cintiladores plásticos posicionados a uma distância d entre eles
 - Múons de raios cósmicos perdem energia nos cintiladores
 - Estes sinais são coletados
 - Medimos a diferença de tempo entre os dois sinais

$$v = \frac{d}{\Delta T}$$



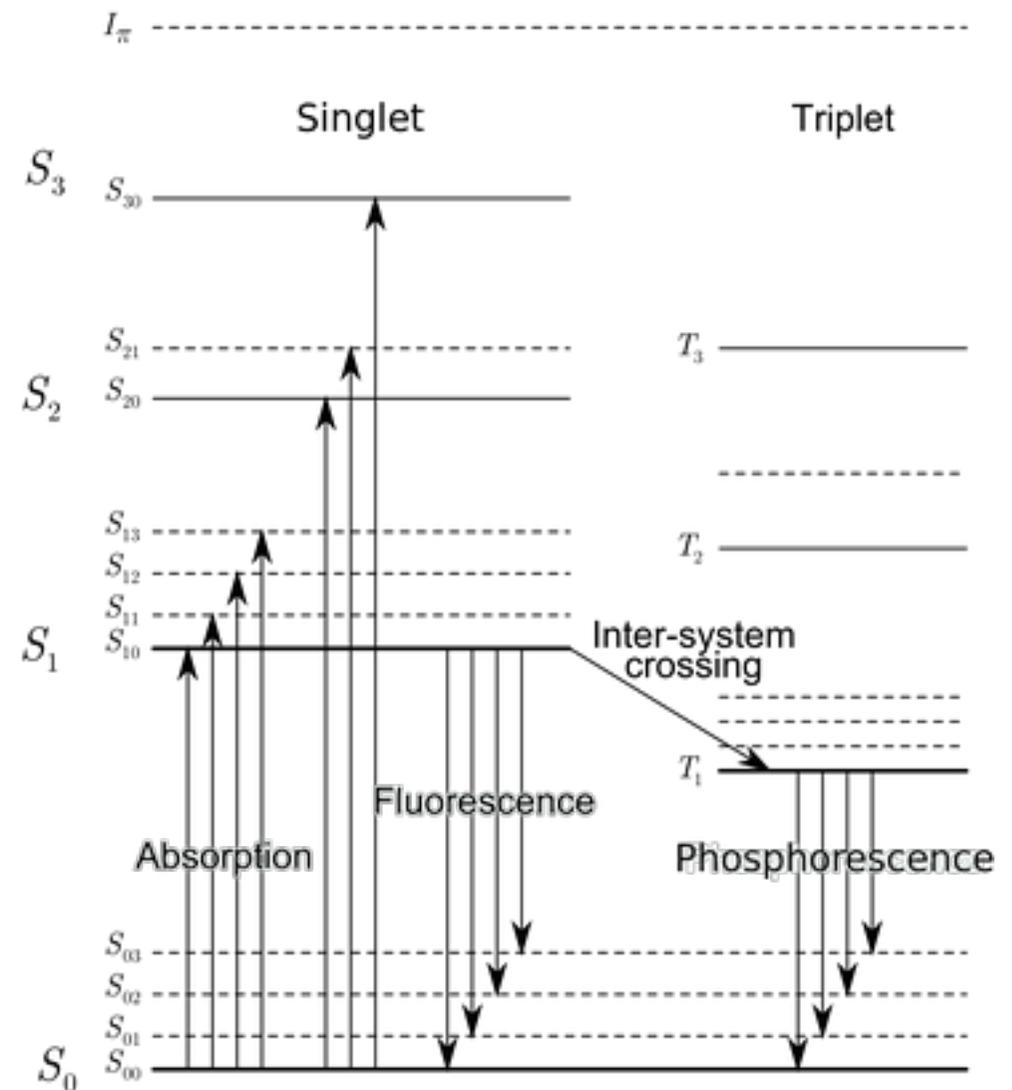
O processo de cintilação

- Alguns materiais, ao absorverem energia, emitem luz visível: luminescência
 - Fluorescência
 - Fosforescência



O processo de cintilação

- Alguns materiais, ao absorverem energia, emitem luz visível: luminescência
 - Fluorescência
 - Fosforescência



Relação entre quantidade de luz e energia depositada

- Quantidade luminosa é proporcional à energia depositada (sem saturação, ou seja, dE/dx é pequeno)

$$\frac{dL}{dx} = S \frac{dE}{dx} \rightarrow \frac{dL}{dE} = S$$

$$L = \int_0^E \frac{dL}{dE} dE = SE$$

Forma do pulso de luz

- Tempo para popular os níveis de energia de luminescência e tempo de decaimento destes níveis

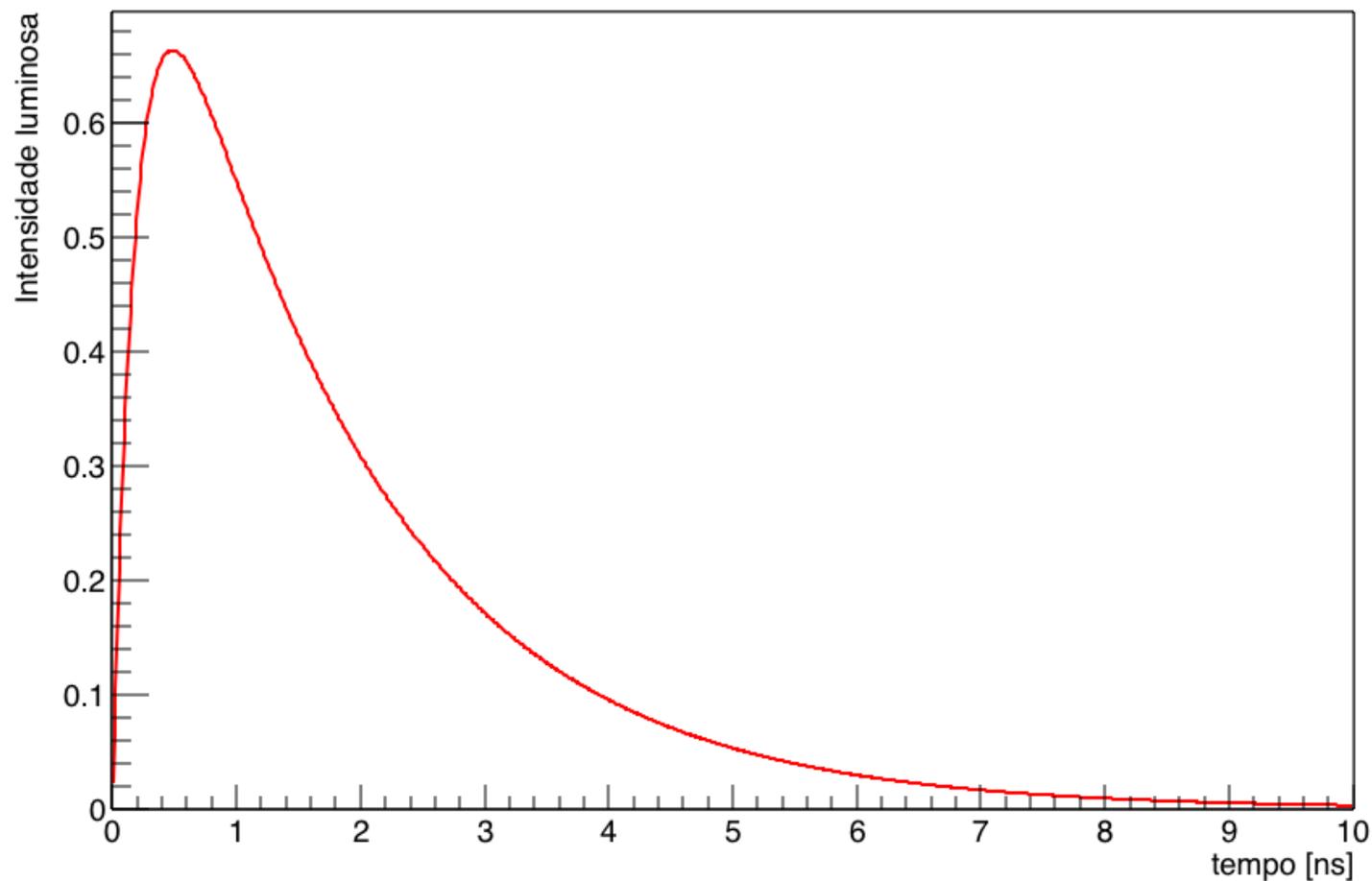
$$I(t) = I_0 \left(e^{-\frac{t}{\tau}} - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right)$$

τ = constante de tempo para popular os estados de luminescência

τ_1 = constante de tempo para decaimento dos estados de luminescência

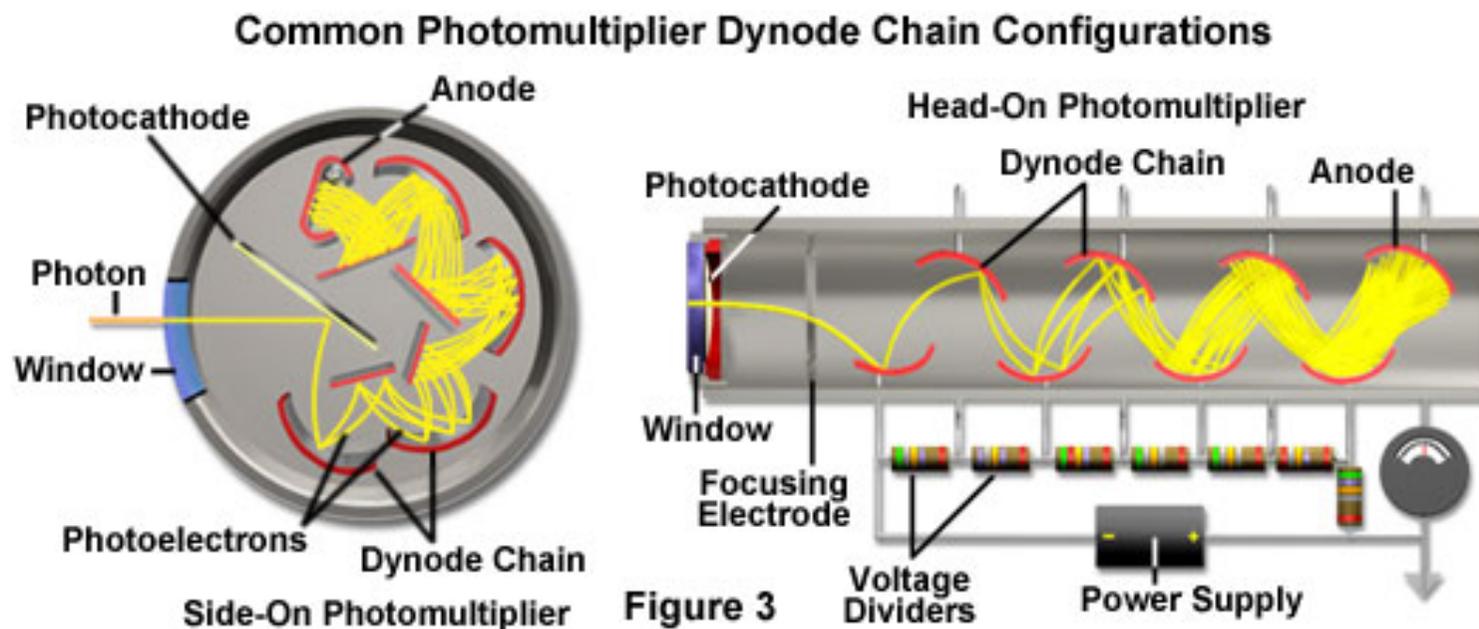
Forma do pulso de luz

$$\tau = 0.2\text{ns} \quad \tau_1 = 1.7\text{ns}$$



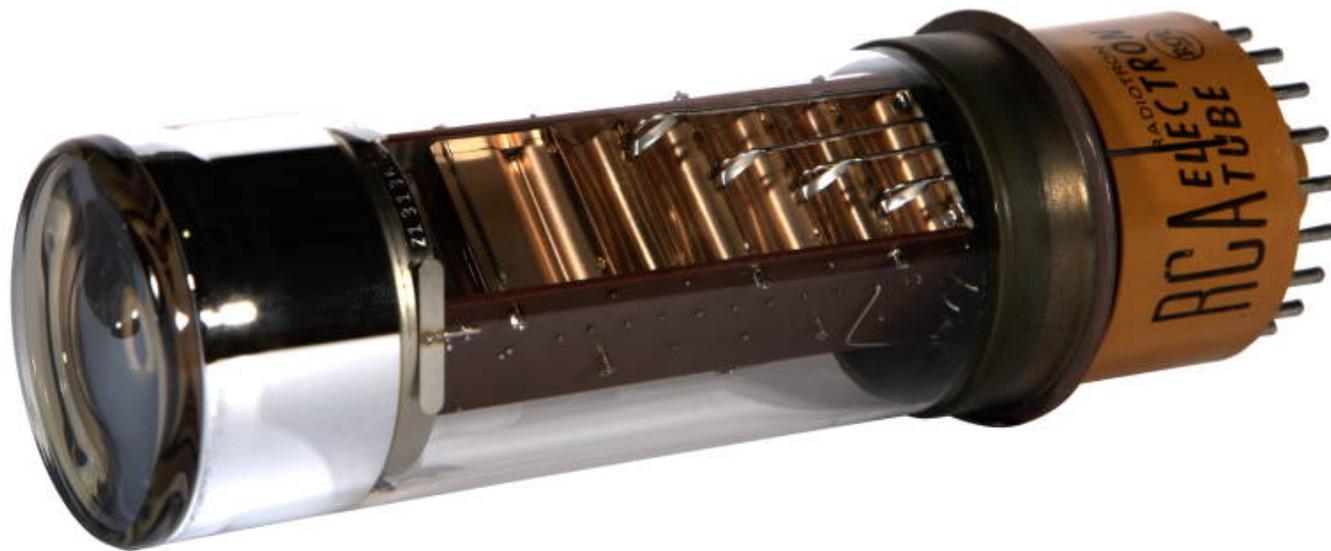
Conversão de luz para sinal elétrico

- Fotomultiplicadoras – Efeito fotoelétrico + multiplicação de cargas



Conversão de luz para sinal elétrico

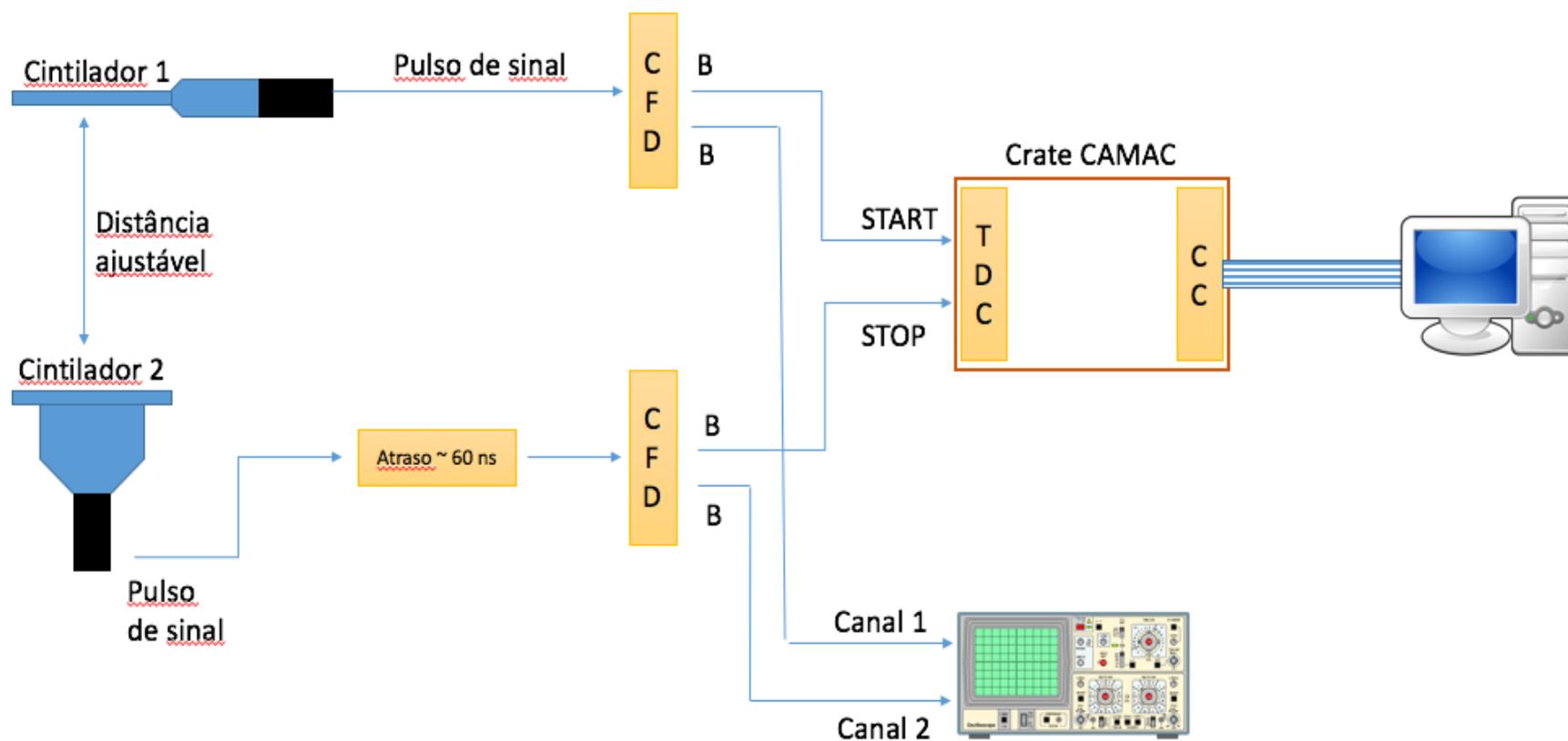
- Fotomultiplicadoras – Efeito fotoelétrico + multiplicação de cargas



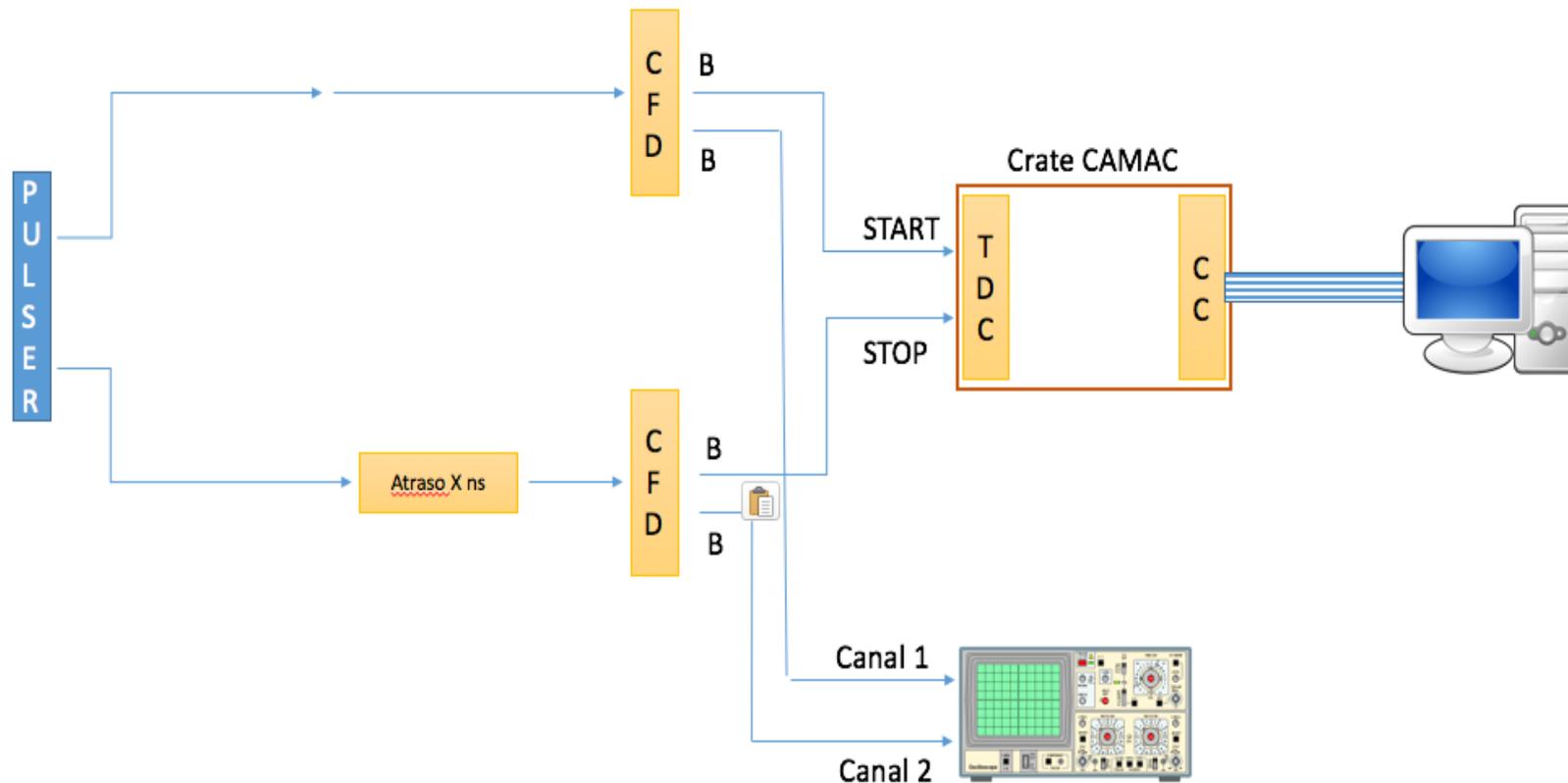
O experimento completo

- Cintiladores
 - Fotomultiplicadoras convertem luz em sinal elétrico
- Discriminadores de fração constante convertem pulsos analógicos em sinais digitais
- TDC – Time to Digital Converter – converte diferença de tempo entre os cintiladores em um número de 11 bits
 - O cintilador 2 deve ter um atraso fixo para garantir que o sinal dele sempre chega depois do cintilador 1
 - Dado é transferido ao computador e armazenado para análise

O experimento completo



Antes devemos realizar a calibração em tempo do sistema



Atividades

- Estudo
 - Capítulos 8 e 9 do Knoll
- Roteiro completo no site da disciplina
 - Bem como o link para esta aula
- Organização das atividades dos dois grupos
 - Experimento deve levar 1 – 1 ½ dias para cada grupo