

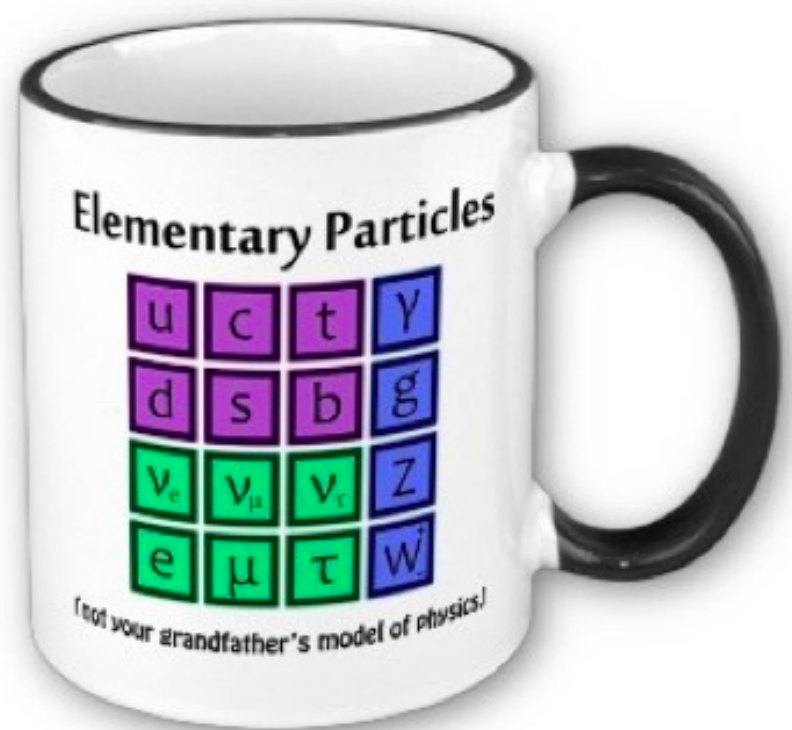
A Detecção de Partículas Elementares

Ricardo Gonçalo com slides de Alberto Palma



Masterclass 2014
22 de Março, Évora

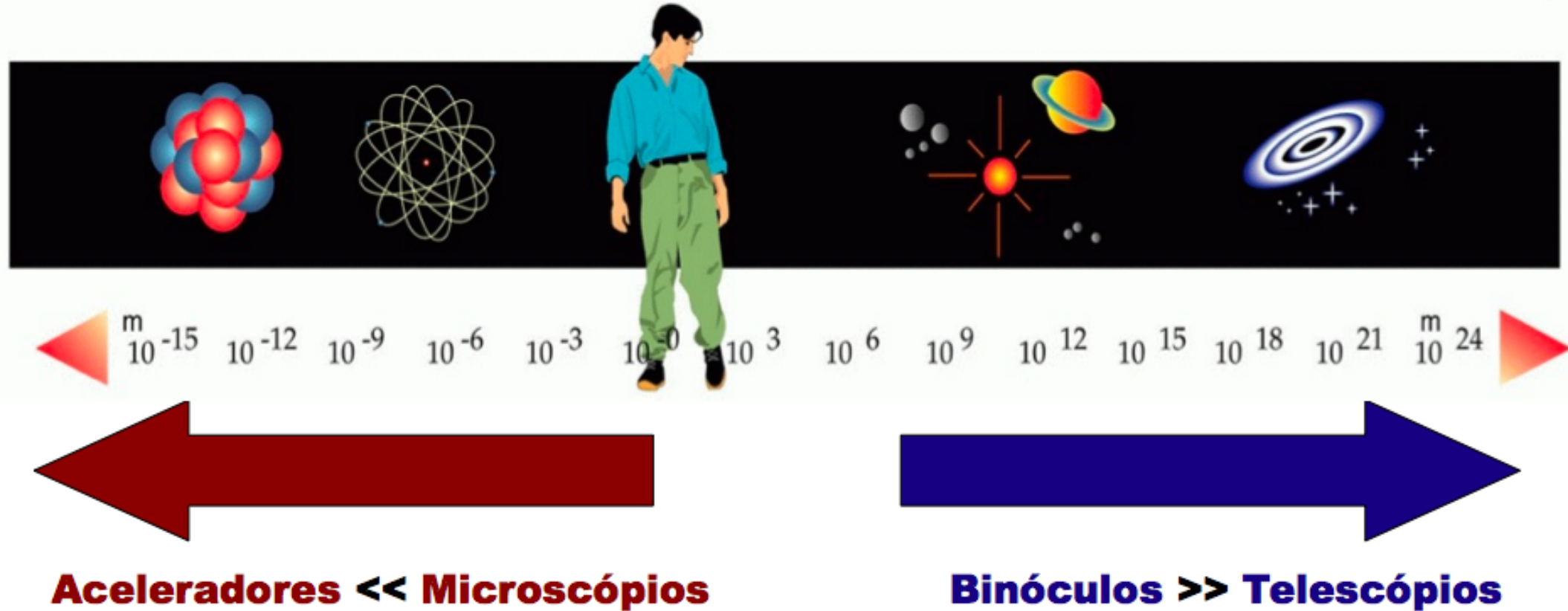
O que é que faz um físico de partículas?



Estuda a linguagem da Natureza:

- as **partículas elementares** são o **alfabeto da Natureza**
- as **interacções** e **simetrias** são as **regras de gramática** que regem o alfabeto e lhe conferem significado
- o **Modelo Padrão** é a nossa teoria de interpretação da Natureza

Como é que o físico estuda a Natureza?



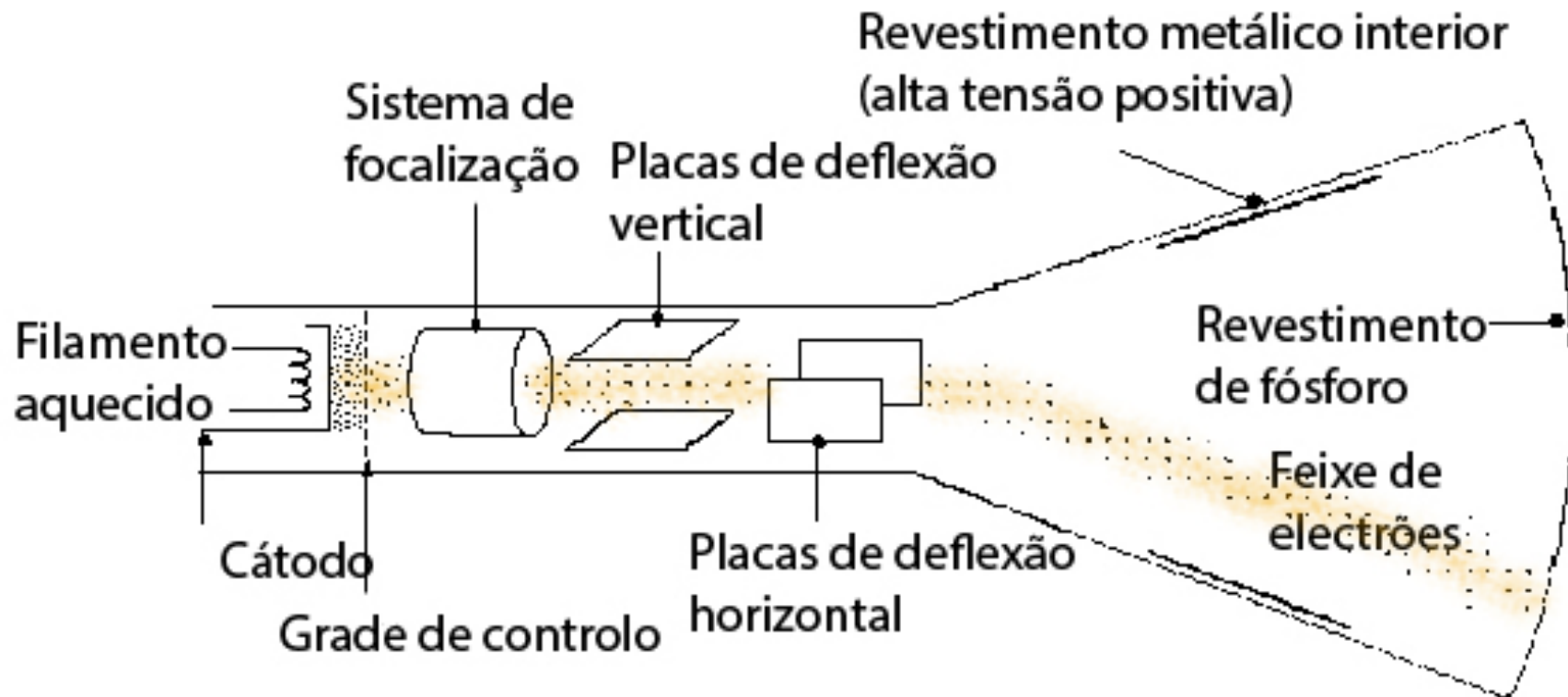
Por exemplo, usa um acelerador...

- quanto maior é a energia das partículas aceleradas, mas fundo na matéria podem penetrar
- se há energia suficiente, são criadas partículas novas ($E = mc^2$)

Exemplo de um acelerador...

Tubo de raios catódicos

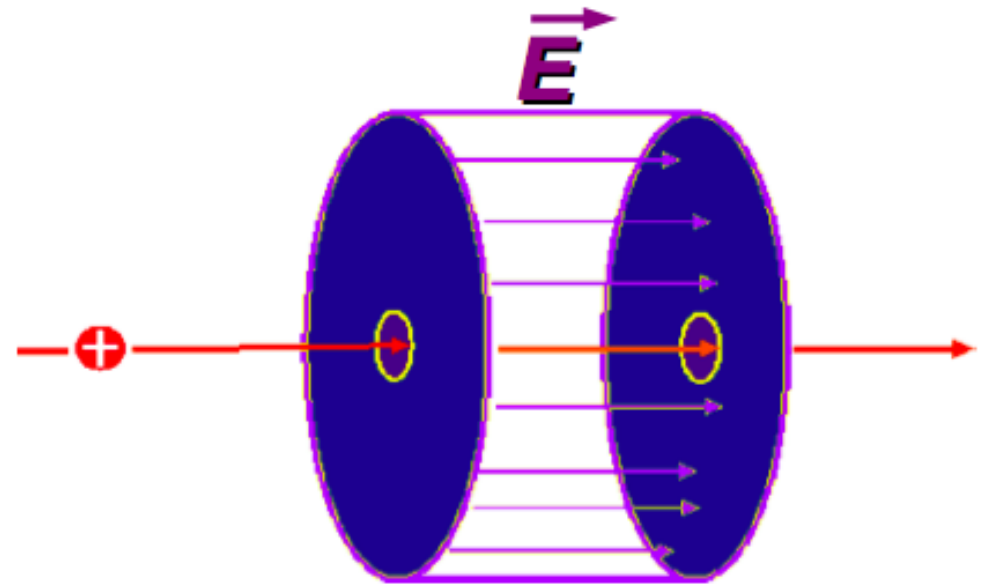
- fonte de partículas
- campos electromagnéticos para as acelerar e guiar
- meio de detecção (detector)



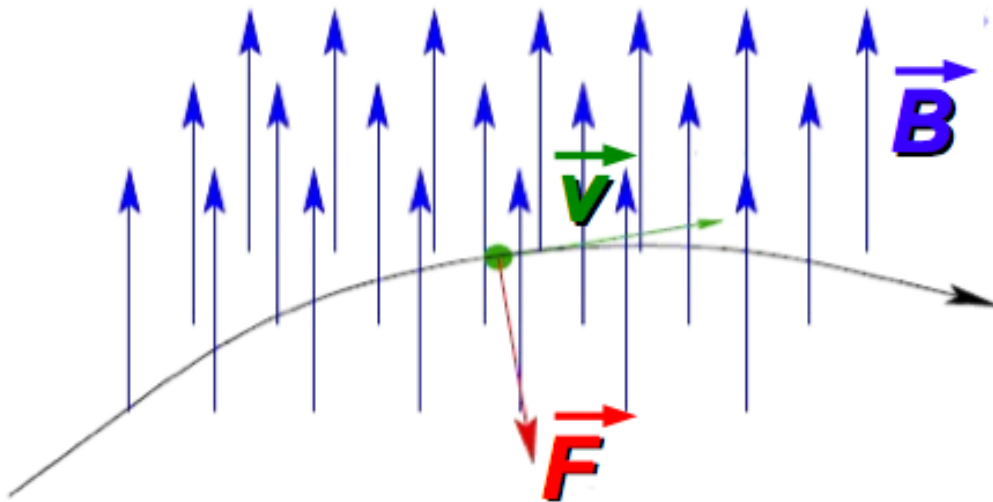
Acelerar e curvar partículas carregadas...

Força de Lorentz

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

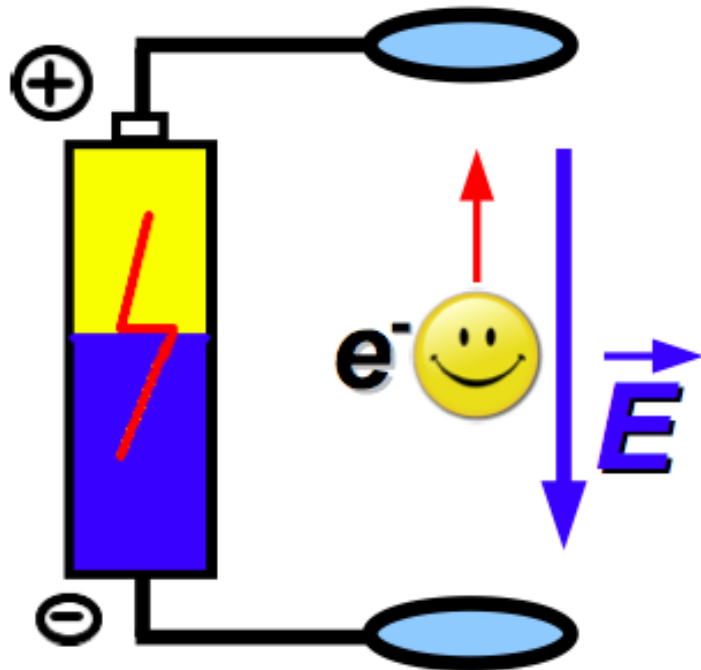


$E(t)$ aumenta a energia



$B(t)$ modifica a trajetória

Unidades...



• **1 electrão-volt (eV) = energia adquirida por um electrão sujeito a uma d.d.p. de 1 volt**

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ joule}$$

Múltiplos mais comuns:

$$1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV} = 1000 \text{ eV}$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1000000 \text{ eV}$$

$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 1000000000 \text{ eV}$$

$$1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV} = 1000000000000 \text{ eV}$$

Massa: $E_c = \frac{1}{2} mv^2 \Rightarrow$ massa em unidades de **energia/(velocidade)²**

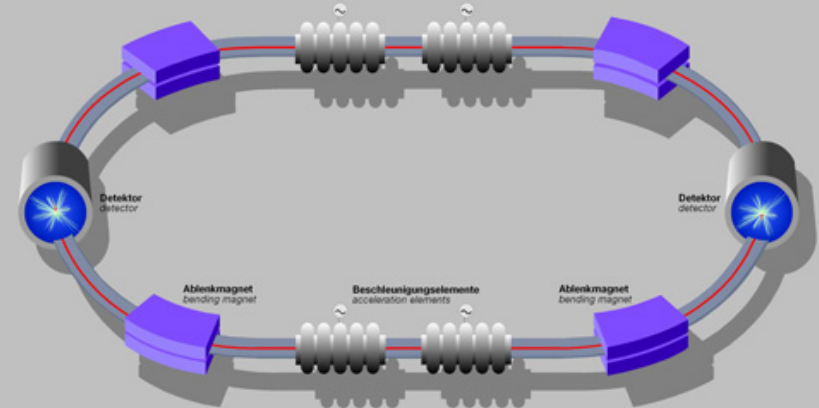
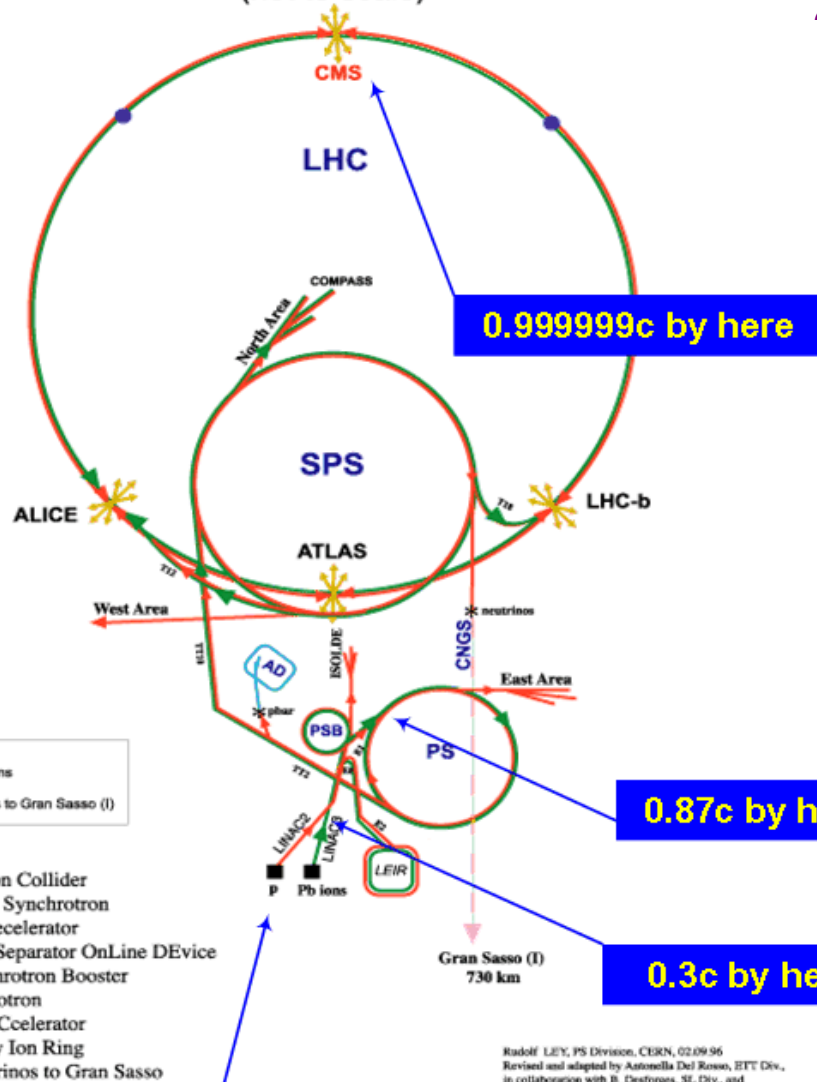
Momento linear: $\vec{p} = m\vec{v} \Rightarrow$ momento em unidades de **energia/velocidade**

Complexo de aceleradores do CERN

CERN Accelerators
(not to scale)

1985: início do projecto LHC

2008: entrada em funcionamento do LHC



Protões percorrem o anel de 27 km de
perímetro **11245 vezes num segundo.**

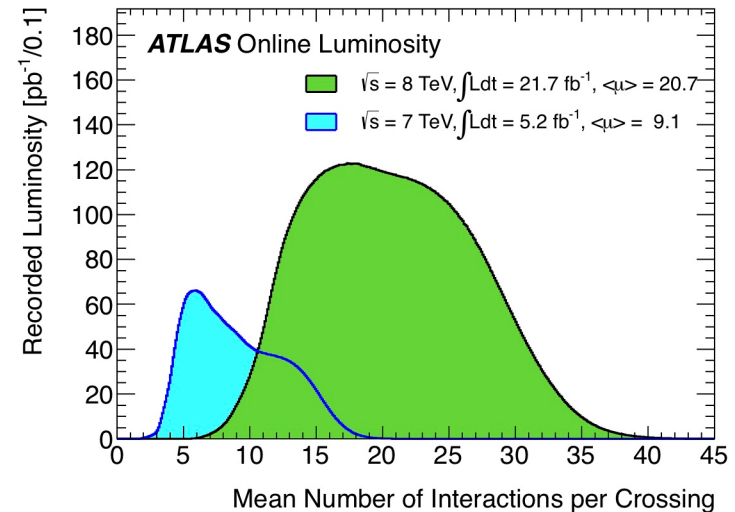
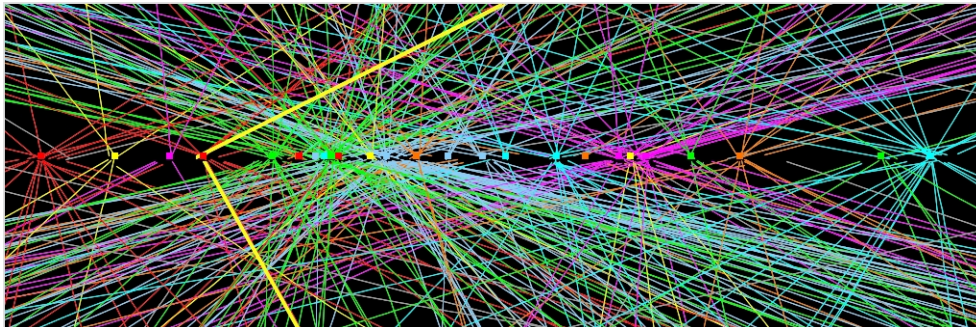
Energia no ponto de interacção

Dois feixes de protões irão viajar a uma $E_{\text{max}} = 7 \text{ TeV}$, correspondendo a uma colisão frontal de $E = 14 \text{ TeV}$. 600 milhões de colisões terão lugar a cada segundo.



Energia útil na colisão: $E_{\text{cm}} = 2E_{\text{feixe}}$

$\sim 10^{11}$ protões / grupo

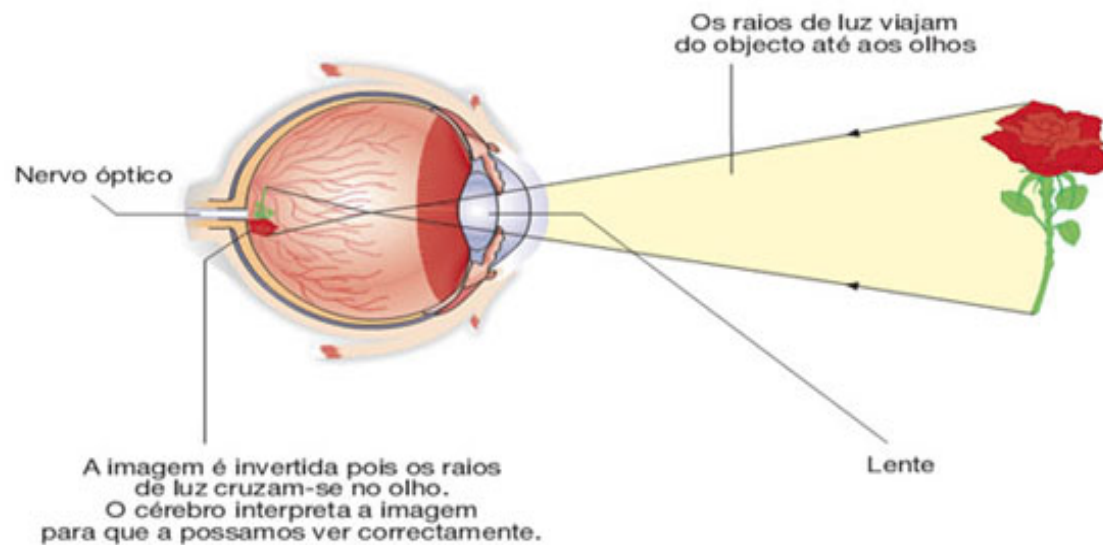


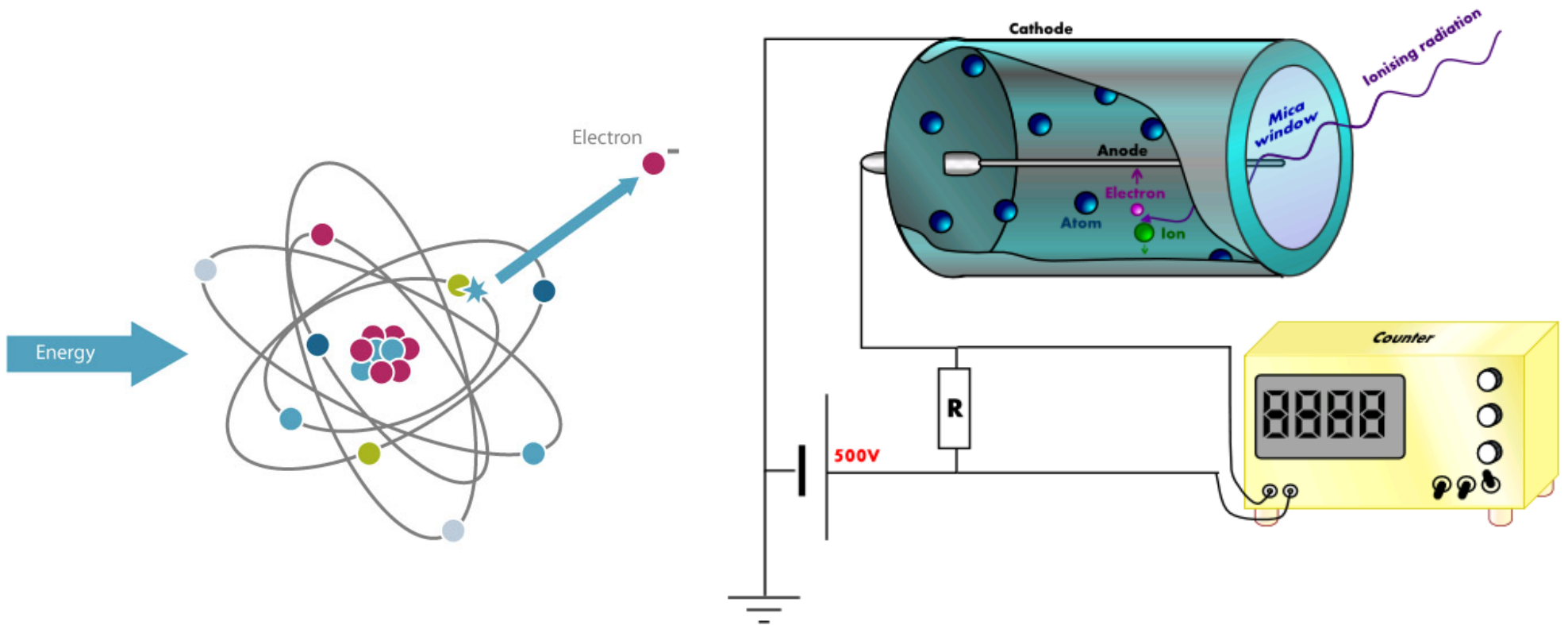
~ 20 colisões

Detectores



Impulsos Eléctricos





● **Objectivo:** Interação da partícula com o volume sensível do detector → **Sinal macroscópico**

- Sinal eléctrico ou Sinal luminoso → Sinal eléctrico

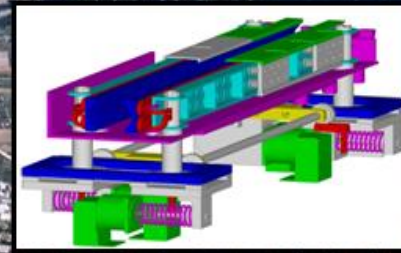
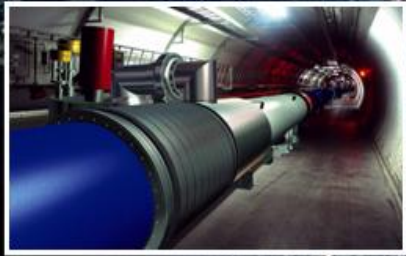
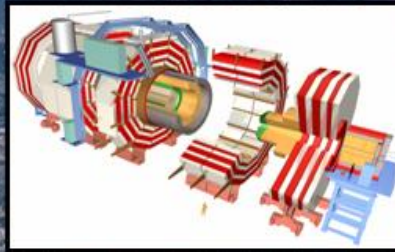
● **Princípio:** Aparição de carga Q

- Aplicação do campo eléctrico → deslocamento da carga → corrente $i(t)$ → colecta de carga no tempo t

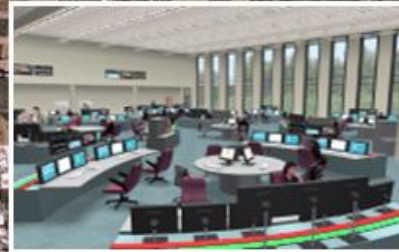
- Formação do sinal $i(t)$: $\int i(t) dt = Q$

Profundidade: 50 a 175 metros

CMS



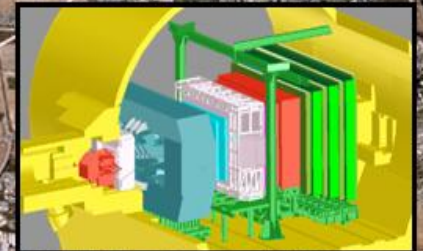
ALICE



ATLAS



LHCb



Gigante ATLAS



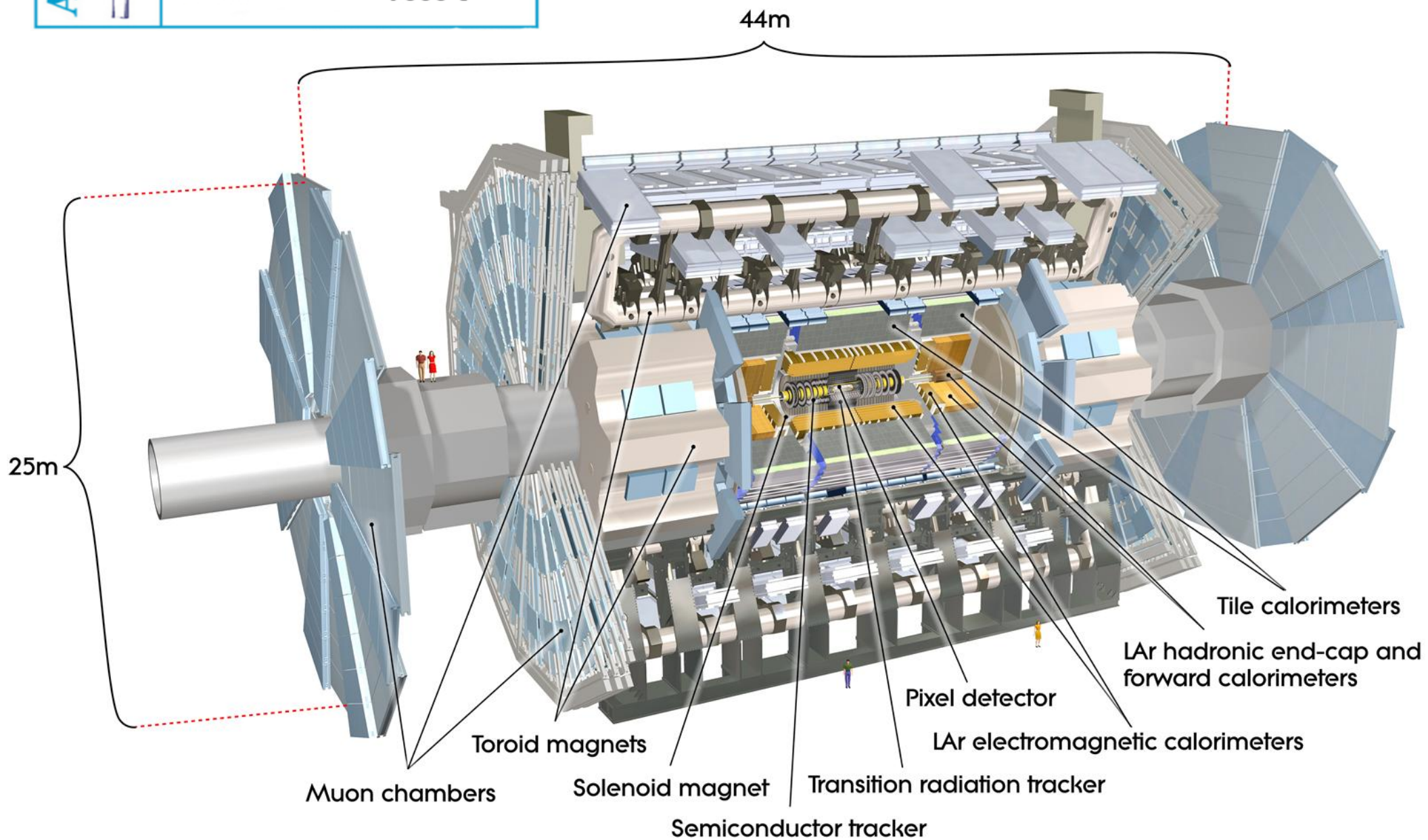
Titã Atlas (mitologia grega):

- Como castigo por ter desafiado os deuses do Olimpo, passou a sustentar nos ombros o fardo do firmamento para toda a eternidade.



Características do detector

Comprimento: 44 m
Diâmetro: 22 m
Peso: 7000 t



Muon Spectrometer

Hadronic Calorimeter

Electromagnetic Calorimeter

Solenoid magnet

Tracking

Transition Radiation Tracker

Pixel/SCT detector

Proton

Neutron

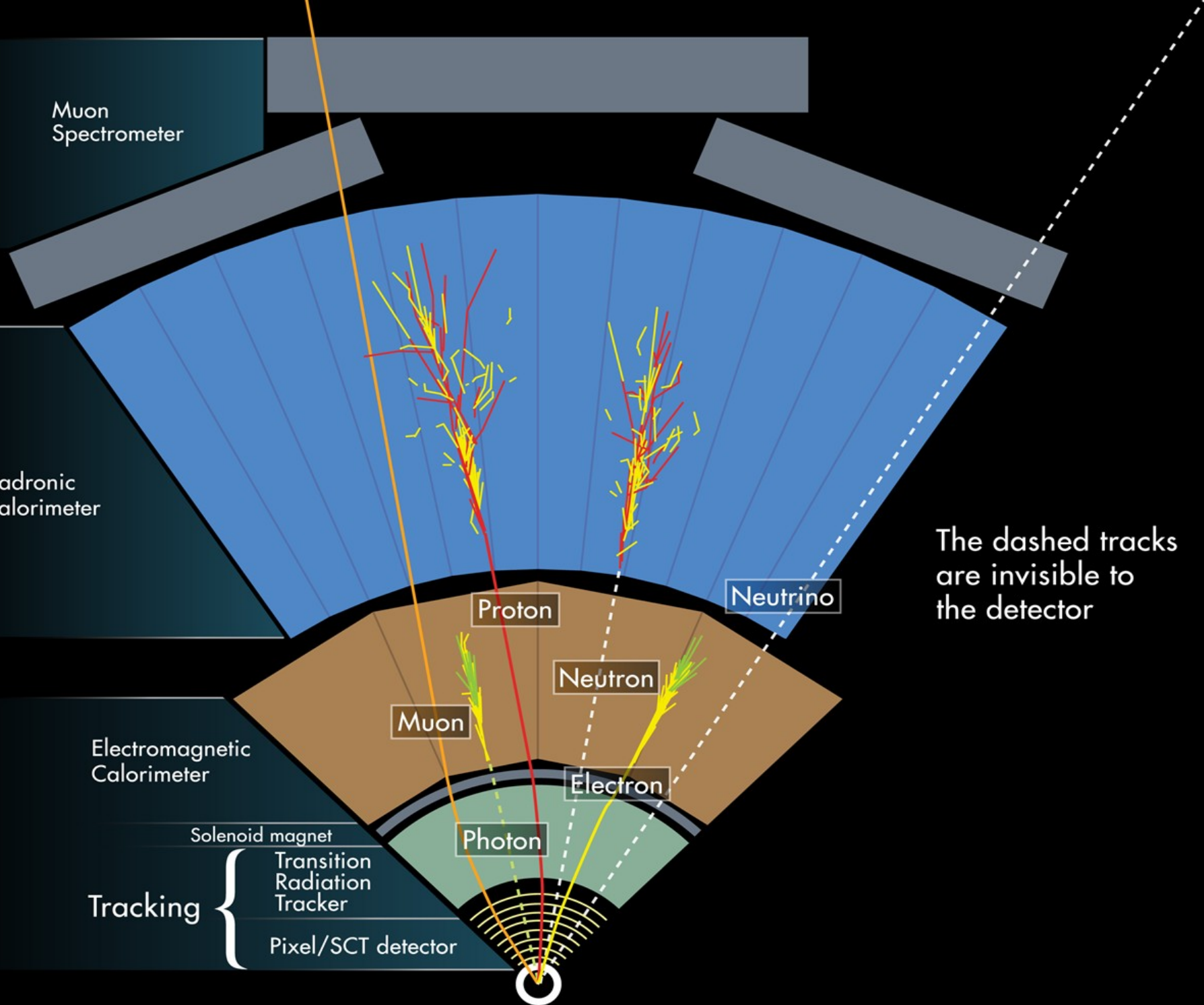
Muon

Electron

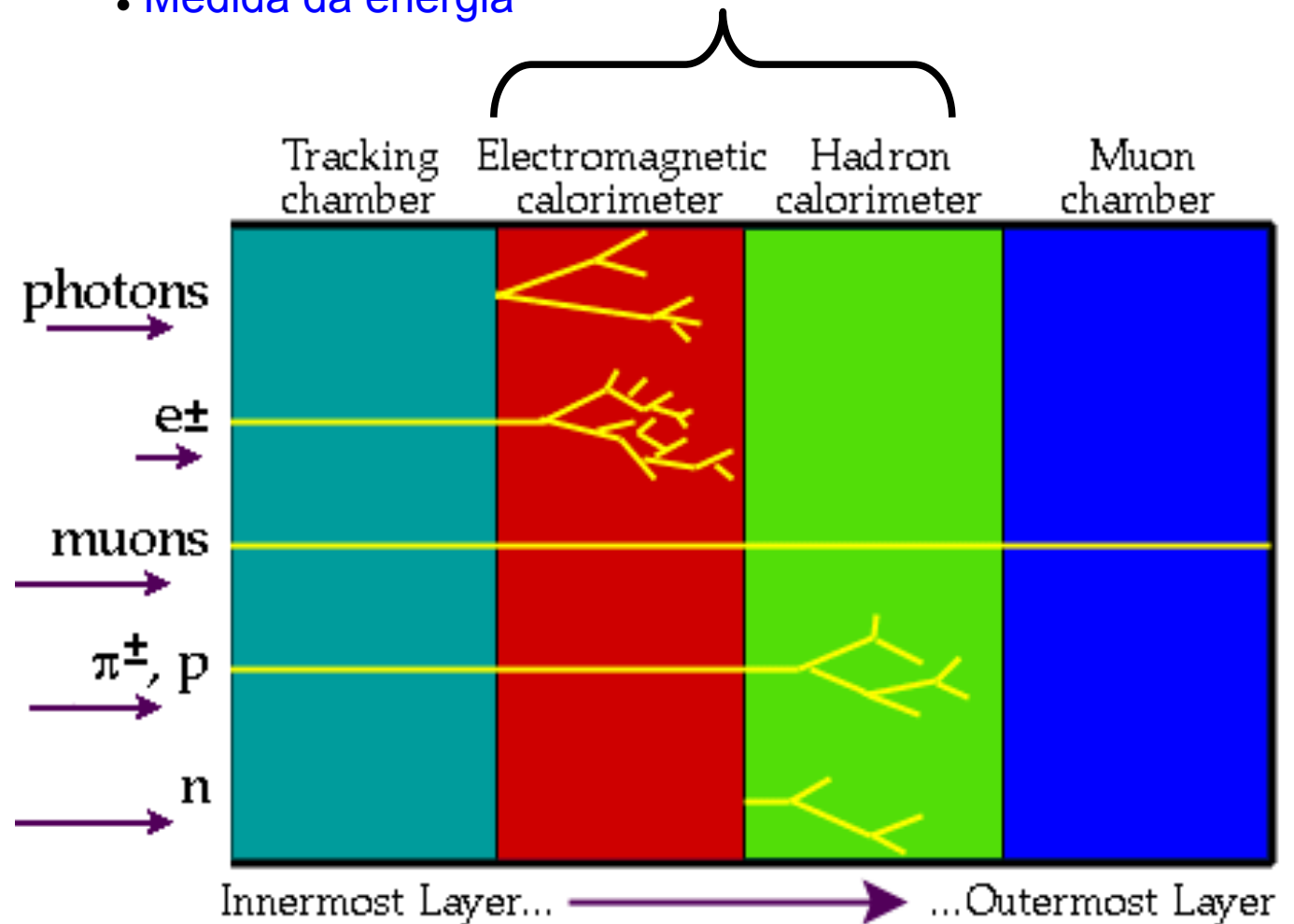
Photon

Neutrino

The dashed tracks are invisible to the detector



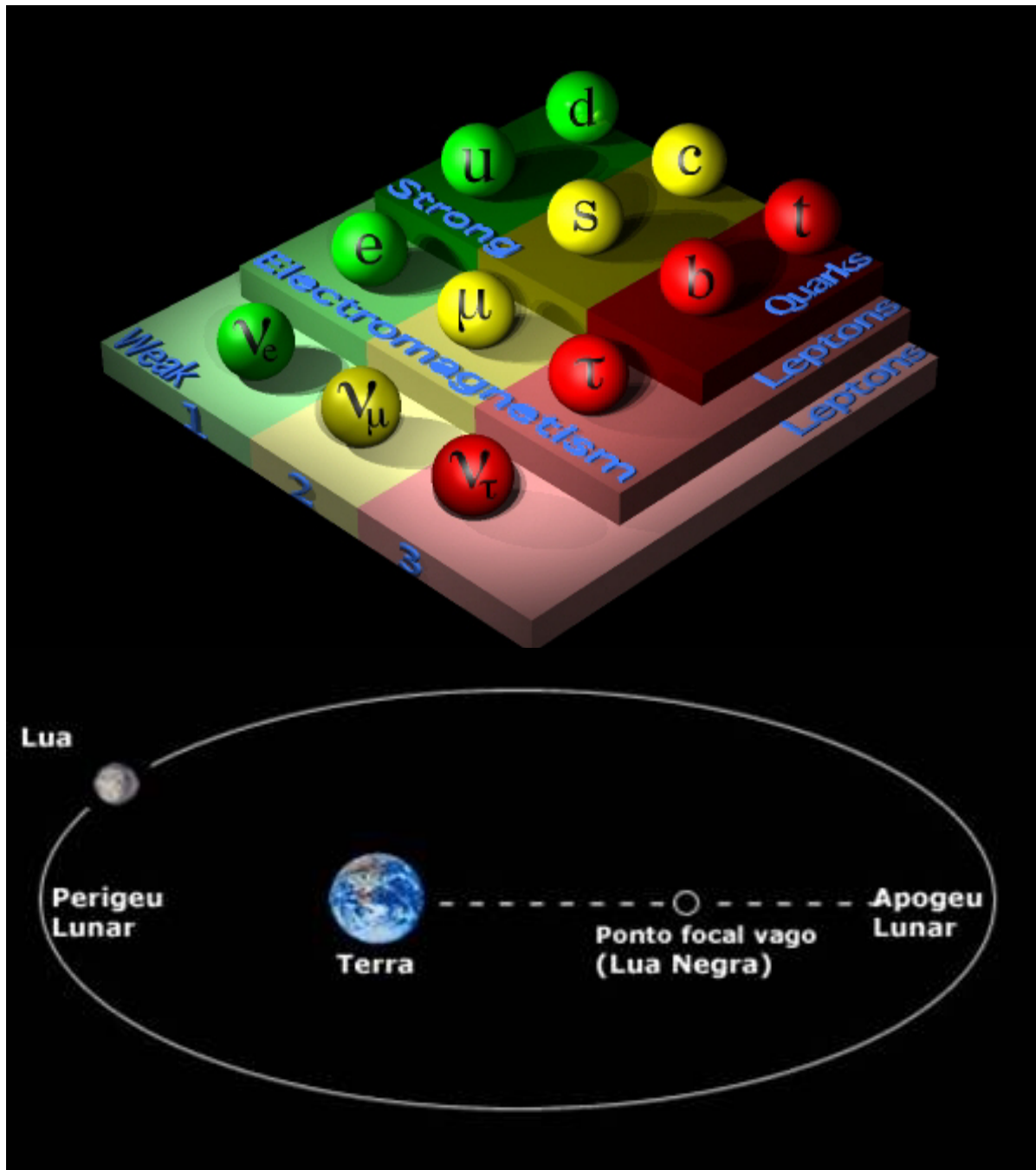
- Identificação de objectos (electrões, fótons, jactos, energia em falta)
- Medida da energia



- Reconstrução de traços
- Determinação p_T e carga
- Vértices

- Identificação de muões
- Melhor determinação do p_T

Massa das partículas elementares



$$m_{\text{electrão}} = 0.5 \text{ MeV}$$

x 346000

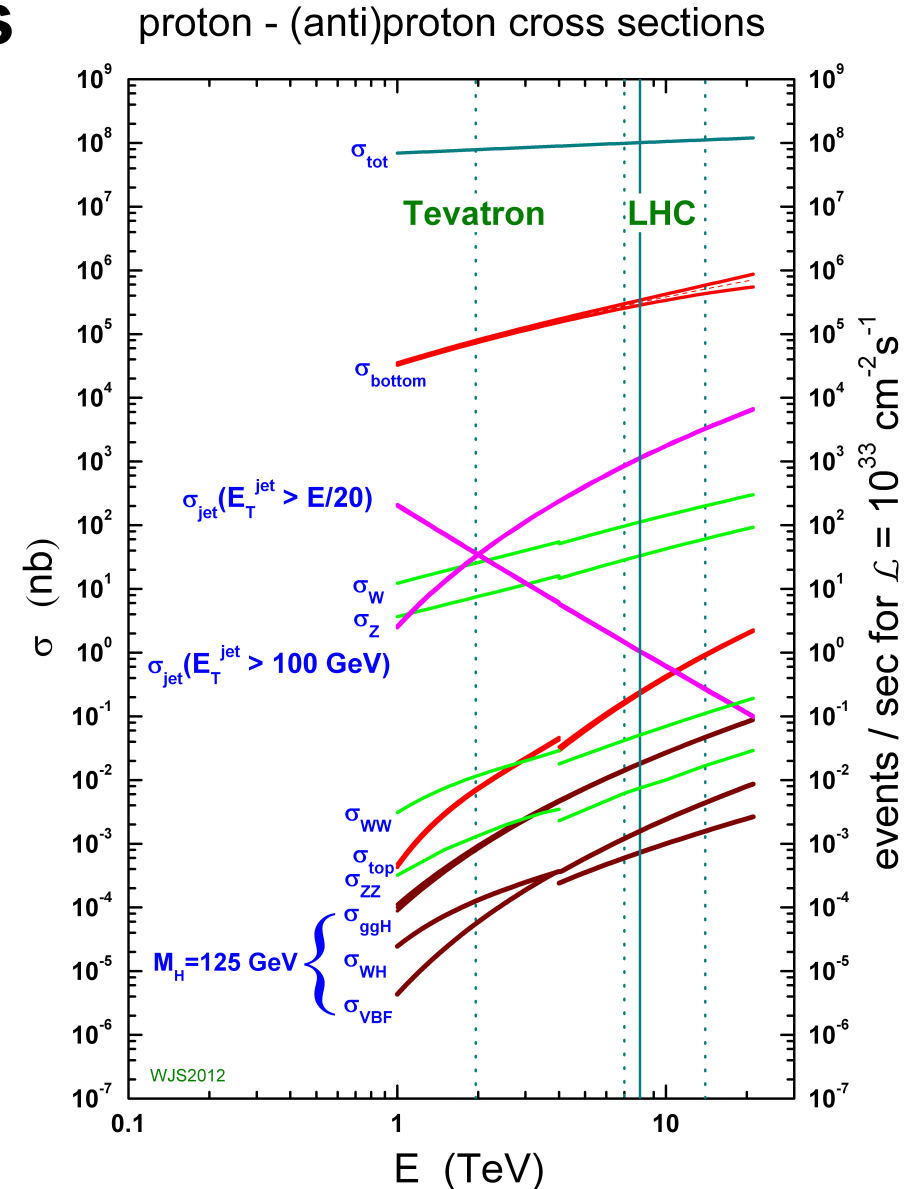
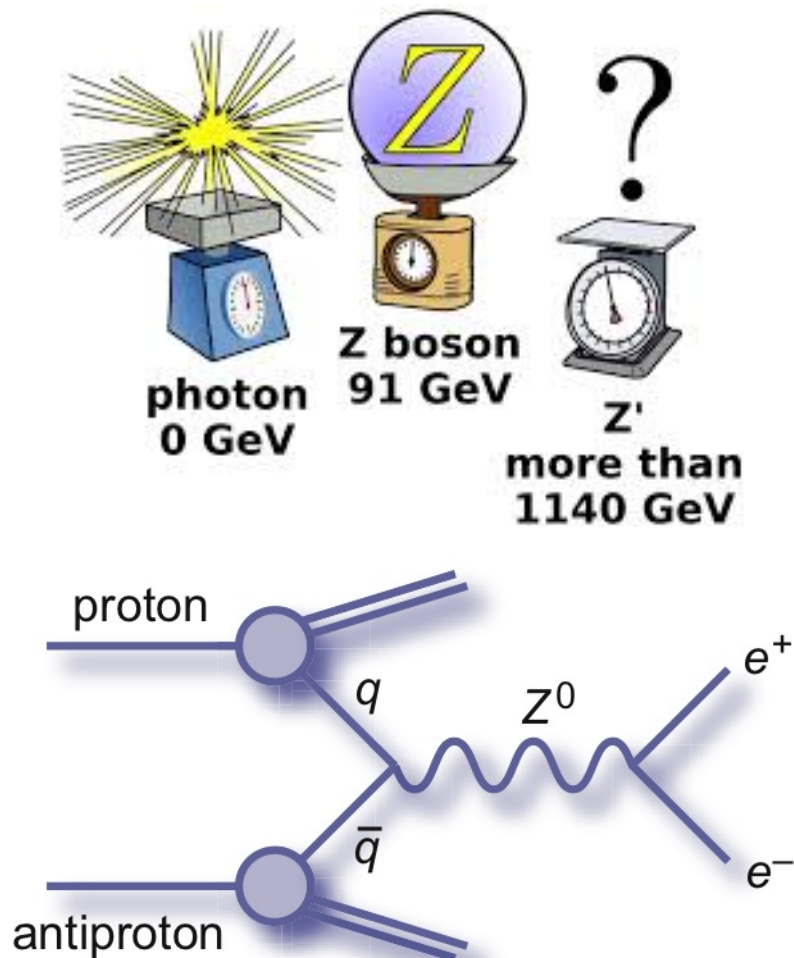
$$m_{\text{top}} = 173 \text{ GeV}$$

Distância Terra-Lua:

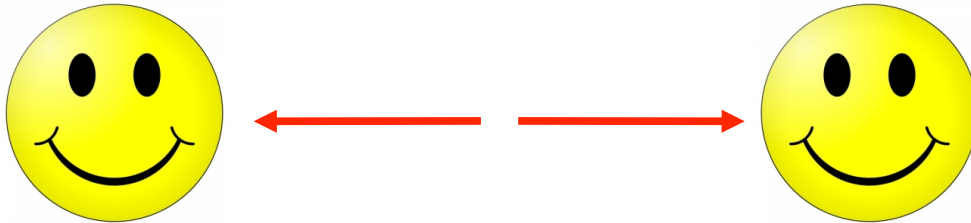
350600 km e os
407000 km

Como é que produzimos um bosão Z?

- É uma partícula instável ($\sim 10^{-25}\text{s}$)
- Decai para quarks e leptões



Como é que detectamos o bosão Z?



- **Antes**

- $E_{\text{tot}} = m_Z c^2$
 - m_Z = massa do Z

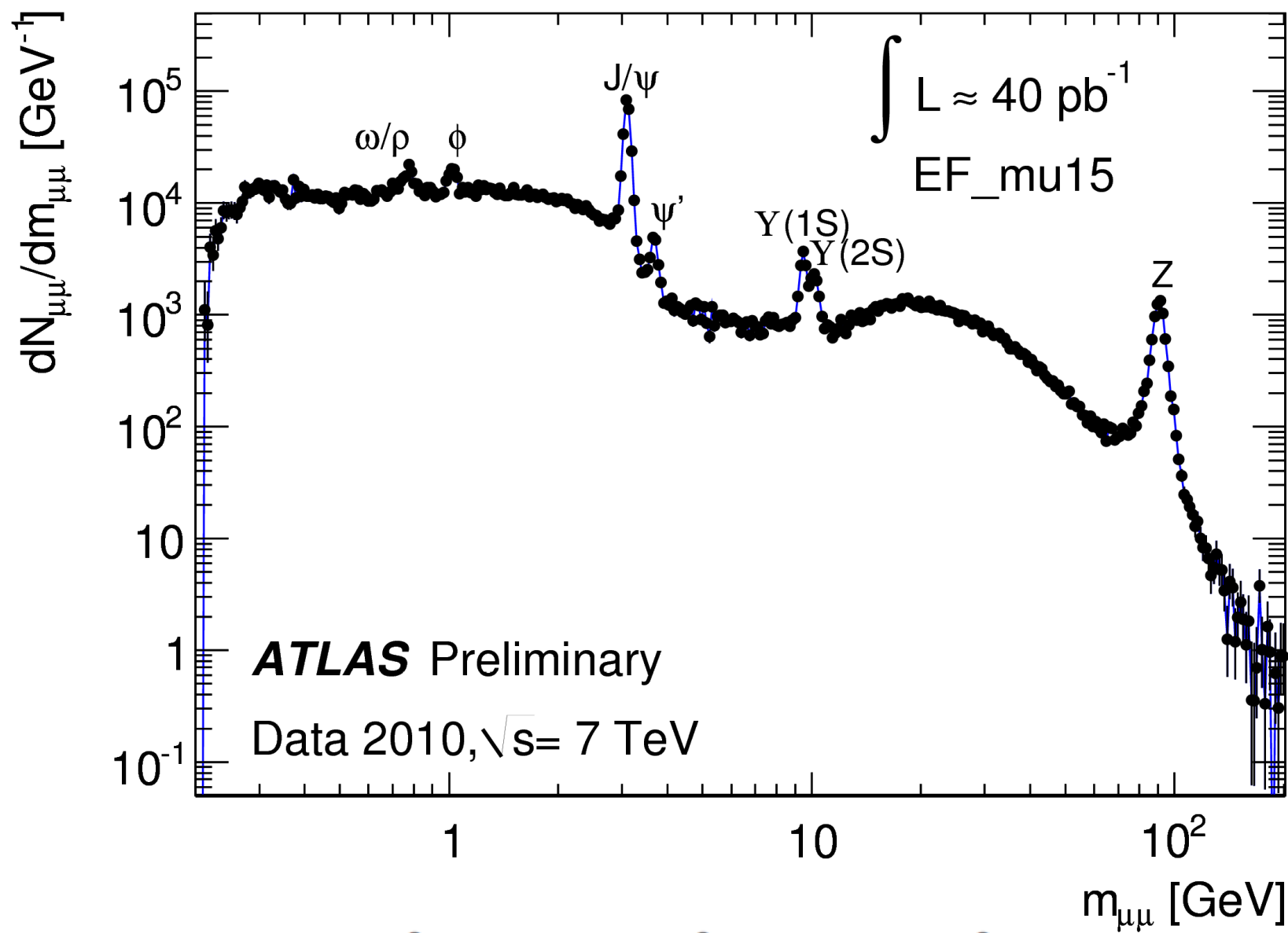
- **Depois**

- $E_{\text{tot}} = E_1 + E_2$
- $E_1 = E_2 = \frac{1}{2} m_Z c^2$

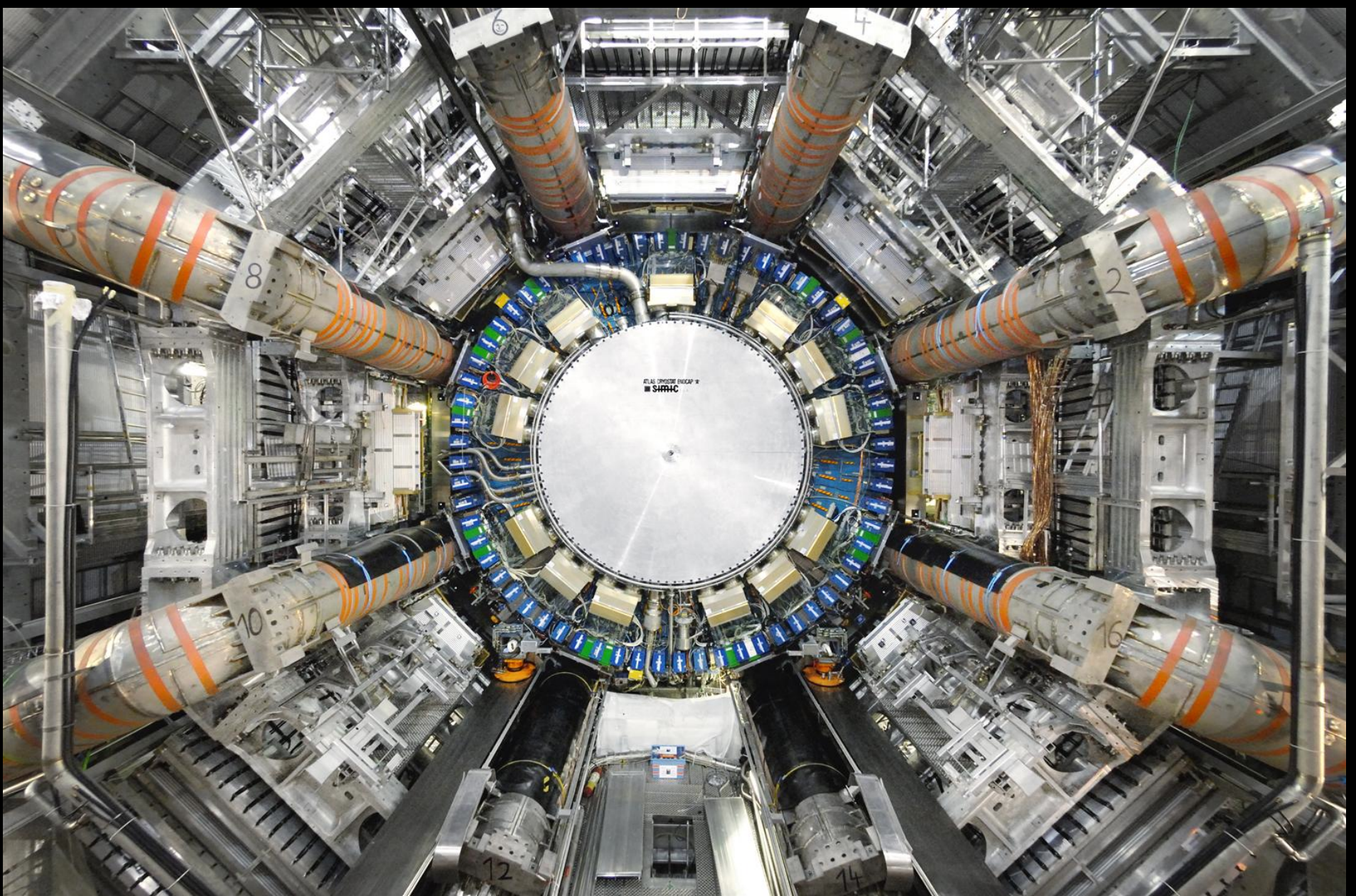
Na prática é mais complicado porque o bosão está em movimento, mas o princípio é o mesmo

$$m^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2$$

Massa invariante do estado final dá-nos a massa da partícula que decaiu



$$m^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2$$



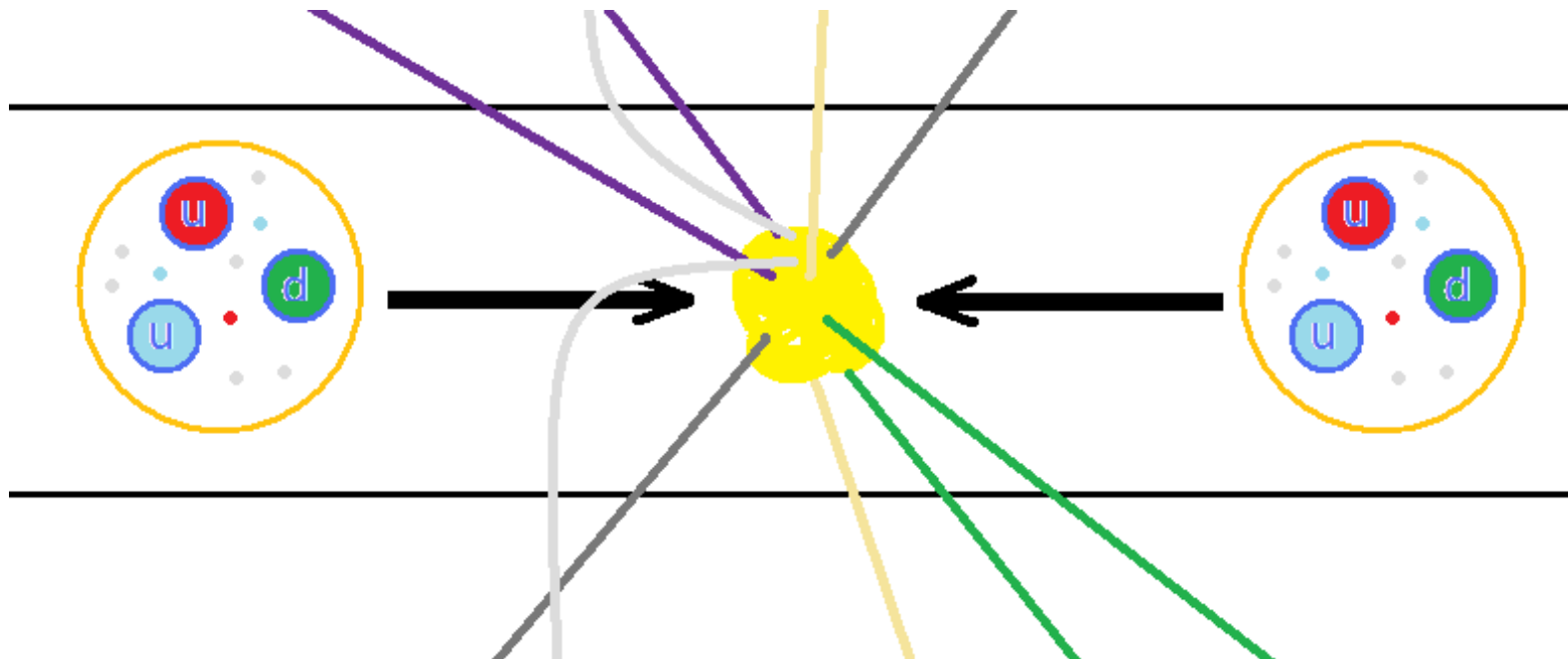
exercício que vos propomos hoje...
...procurar algumas destas partículas
 J/ψ , Υ , Z , Z' , and H

Colisões protão-protão

- Os prótons dos feixes têm a energia de 4 TeV cada:

$$2 \times 4 \text{ TeV} = 8 \text{ TeV (energia útil)}$$

- Os **quarks** e **gluões** constituintes do próton que colide têm apenas uma fracção desta energia. **Novas partículas criadas na colisão têm sempre uma massa inferior a esta energia.**

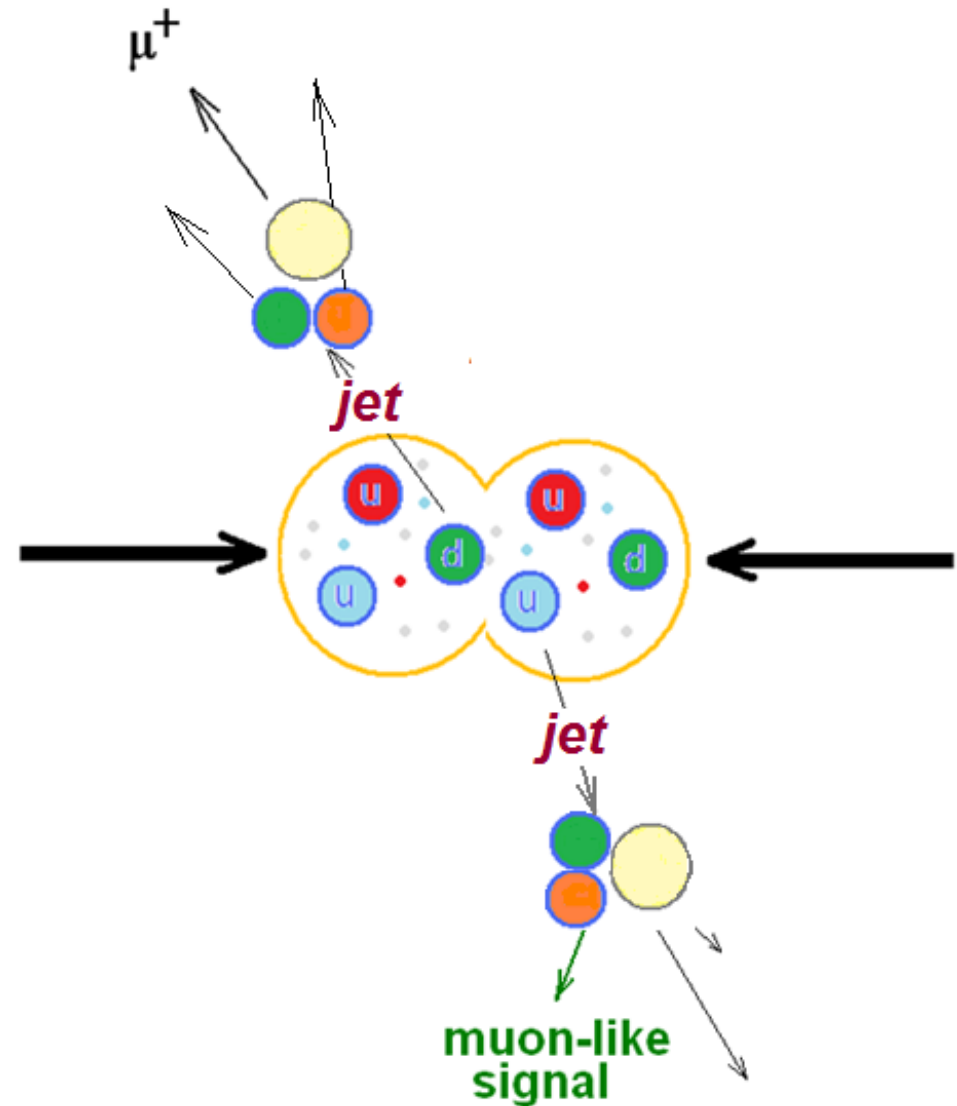


Jactos de partículas (o mais frequente!)

Frequentemente quarks são dispersados em colisões

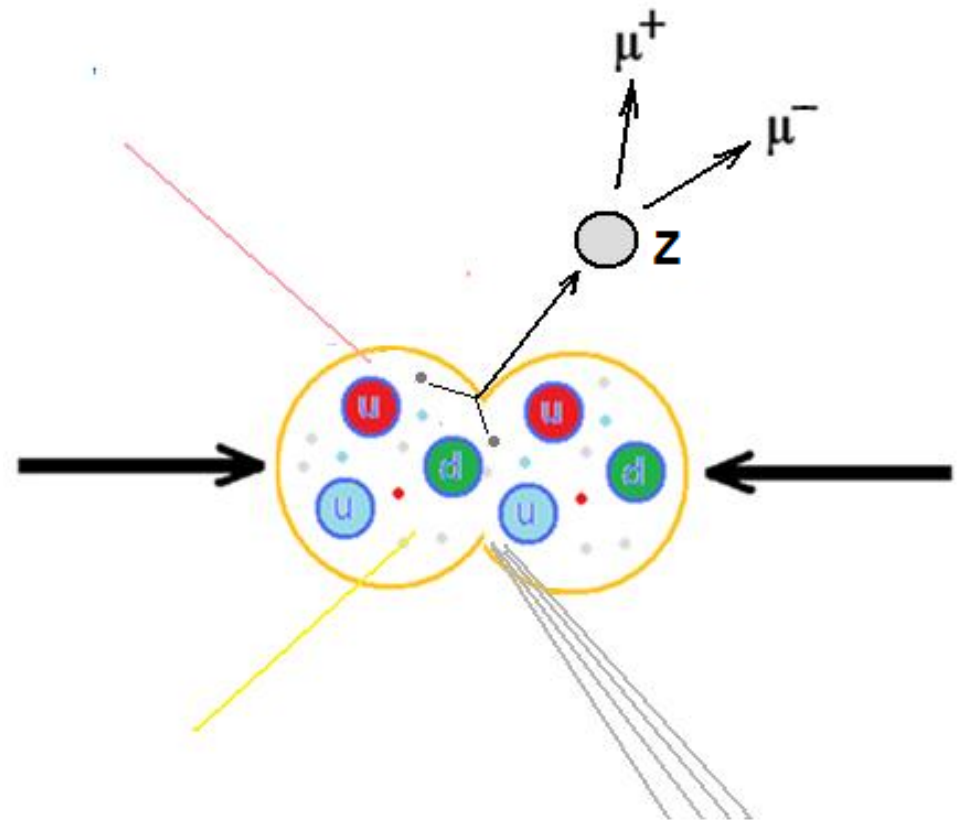
Estes quarks dão origem a jactos de partículas.
Electrões e muões de baixa energia podem ser produzidos nos jactos.

Não são o que estamos à procura!



Bosão Z: os decaimentos que procuramos

Estamos à procura do **bosão Z**, uma partícula **electricamente neutra** com uma **vida média** muito pequena (10^{-25} s) que decai num par **muão-antimuão** ou num par **electrão-positrão** (*)



(*) O Z tem outros decaimentos como em **quark-antiquark** ou em **neutrinos** ... mas não estamos interessados nesses.

NOTA: as partículas J/ψ , Y e Z' têm decaimentos idênticos, a diferença está nas massas e também nos tempos de vida-média.

Invariant Mass

Electrons
Muons

Region:	R1	R2	R3	R4
Events:	27	23	168	39
Mean:	3.04	9.27	89.00	982.90
Width:	0.57	0.97	4.58	58.72

