

# Detetores de Partículas



O que são?

Como são?

Para que são?

PT

BR



detector

# detector | ètô |

(de·tec·tor)

adjectivo e nome masculino

1. Que ou o que detecta.

nome masculino

2. Aparelho destinado a detectar alguma coisa (ex.: *detector de metais*).

3. [Física] Aparelho outrora empregado para revelar o grisú nas minas de hulha.

4. Aparelho destinado a revelar a existência de ondas electromagnéticas. = COESOR

## detector de mentiras

• Máquina que regista vários fenómenos fisiológicos, usada para detectar mentiras. = POLÍGRAFO, PSICOGALVANÓMETRO

# O que é um detetor?

Um detetor é qualquer meio físico em que de uma ação resulta uma reação:

- A ação produz uma alteração/perturbação desse meio físico
- Essa alteração/perturbação traduz-se numa reação
- Esta reação resulta num sinal que indica que ocorreu a ação

**Que detetores é que vocês conhecem?**

# INTRODUCTION TO THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

When you tune your radio, watch TV, send a text message, or pop popcorn in a microwave oven, you are using electromagnetic energy. You depend on this energy every hour of every day. Without it, the world you know could not exist.

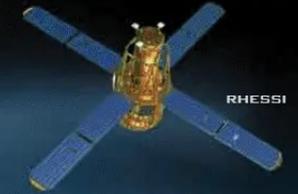
Electromagnetic energy travels in waves and spans a broad spectrum from very long radio waves to very short gamma rays. The human eye can only detect only a small portion of this spectrum called visible light. A radio detects a different portion of the spectrum, and an x ray machine uses yet another portion. NASA's scientific instruments use the full range of the electromagnetic spectrum to study the Earth, the solar system, and the universe beyond.

## OUR PROTECTIVE ATMOSPHERE

Our Sun is a source of energy across the full spectrum, and its electromagnetic radiation bombards our atmosphere constantly. However, the Earth's atmosphere protects us from exposure to a range of higher energy waves that can be harmful to life. Gamma rays, x rays, and some ultraviolet waves are "ionizing," meaning these waves have such a high energy that they can knock electrons out of atoms. Exposure to these high energy waves can alter atoms and molecules and cause damage to cells in organic matter. These changes to cells can sometimes be helpful, as when radiation is used to kill cancer cells, and other times not, as when we get sunburned.

## Seeing Beyond our Atmosphere

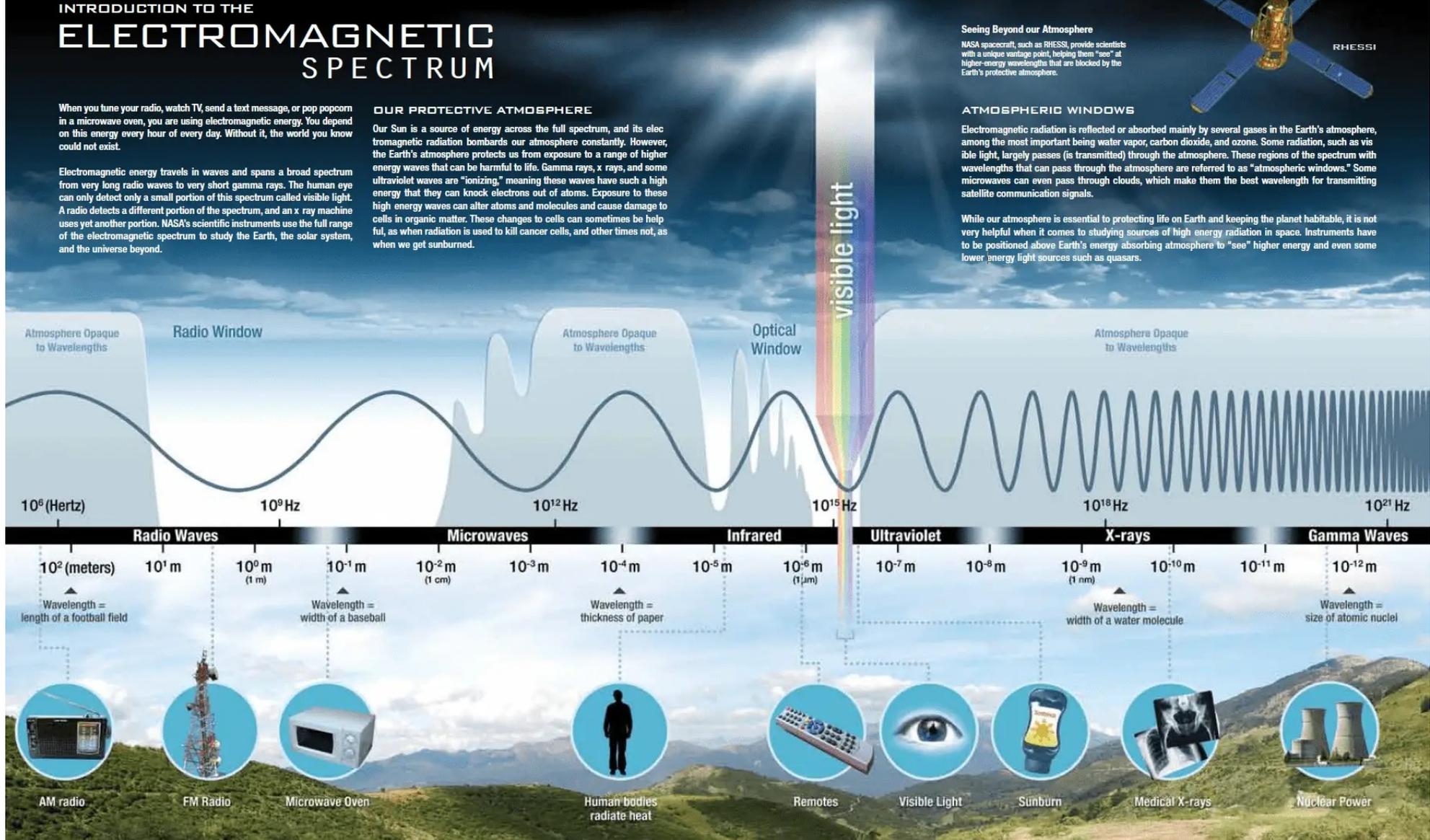
NASA spacecraft, such as RHESSI, provide scientists with a unique vantage point, helping them "see" at higher-energy wavelengths that are blocked by the Earth's protective atmosphere.



## ATMOSPHERIC WINDOWS

Electromagnetic radiation is reflected or absorbed mainly by several gases in the Earth's atmosphere, among the most important being water vapor, carbon dioxide, and ozone. Some radiation, such as visible light, largely passes (is transmitted) through the atmosphere. These regions of the spectrum with wavelengths that can pass through the atmosphere are referred to as "atmospheric windows." Some microwaves can even pass through clouds, which make them the best wavelength for transmitting satellite communication signals.

While our atmosphere is essential to protecting life on Earth and keeping the planet habitable, it is not very helpful when it comes to studying sources of high energy radiation in space. Instruments have to be positioned above Earth's energy absorbing atmosphere to "see" higher energy and even some lower energy light sources such as quasars.



# O que é um detetor?

Um detetor é qualquer meio físico em que de uma ação resulta uma reação que é mensurável

AÇÃO = Uma partícula atravessa um detetor

A ação produz uma alteração nesse meio físico

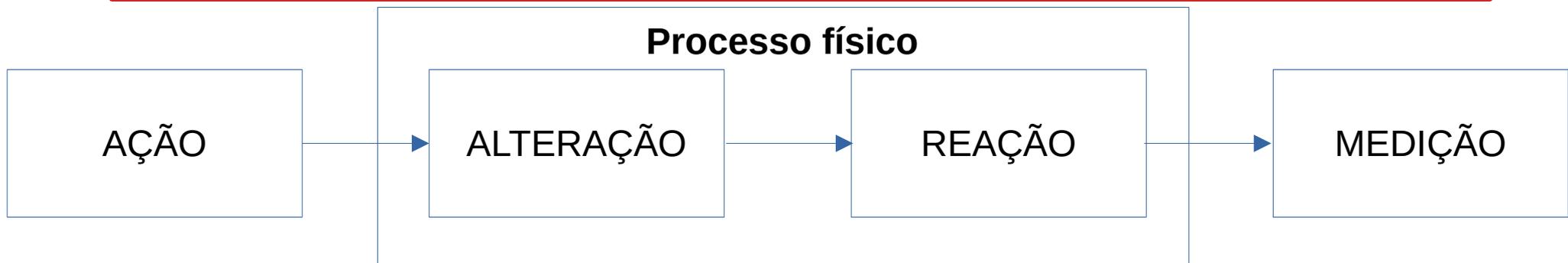
ALTERAÇÃO = A passagem da partícula resulta numa interação i.e. um processo físico

Essa alteração traduz-se numa reação

REAÇÃO = Este processo físico produz um sinal (elétrico ou luminoso)

Esta reação é de alguma forma mensurável i.e. resulta numa medida experimental

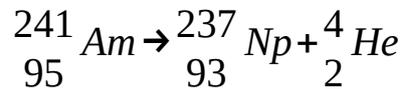
MEDIÇÃO = O sinal produzido é transformado e gravado em memória persistente



# Detetores no dia-a-dia

- Detetores de fumo

- Fotoelétricos (dispersão)
- Iônicos (partículas alfa)

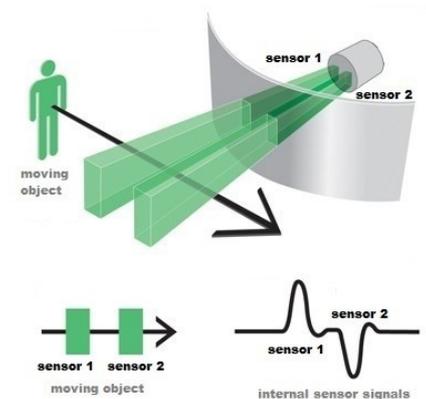
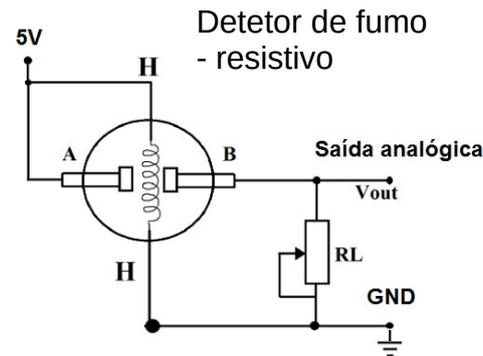
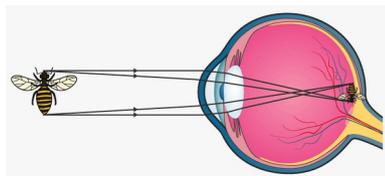
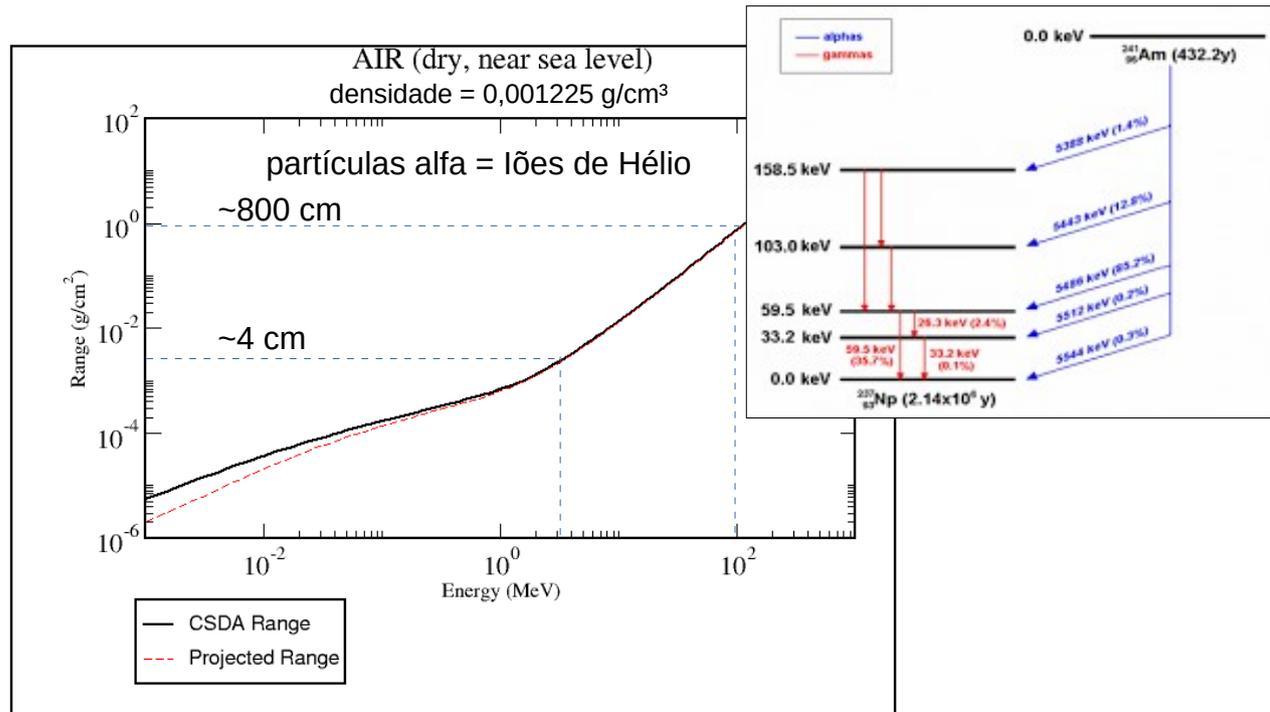


- Detetores de gás

- CO<sub>2</sub> (absorção)

- Detetores de presença

- Temperatura do corpo - infravermelho

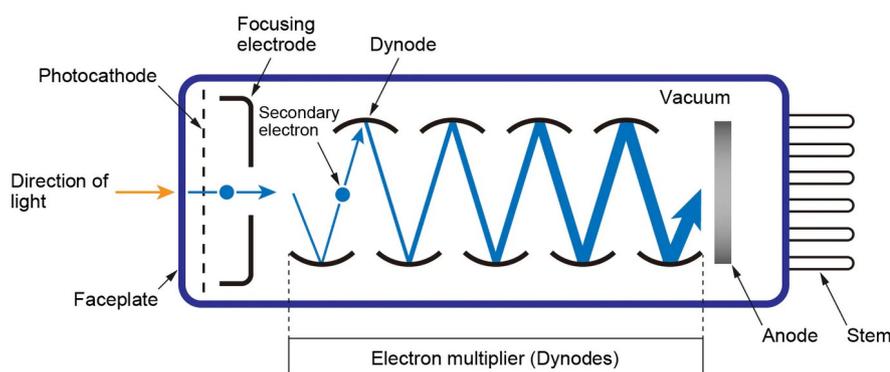
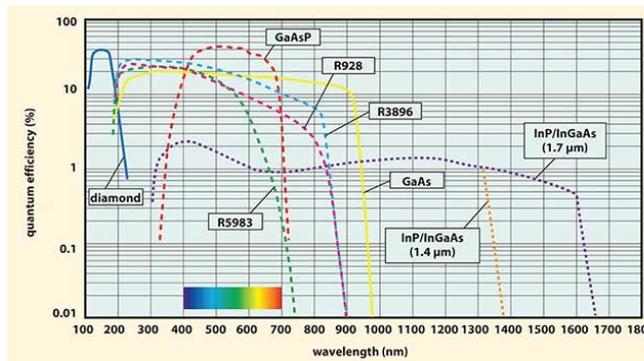


# Detetores de fótons

## Da Física de Partículas

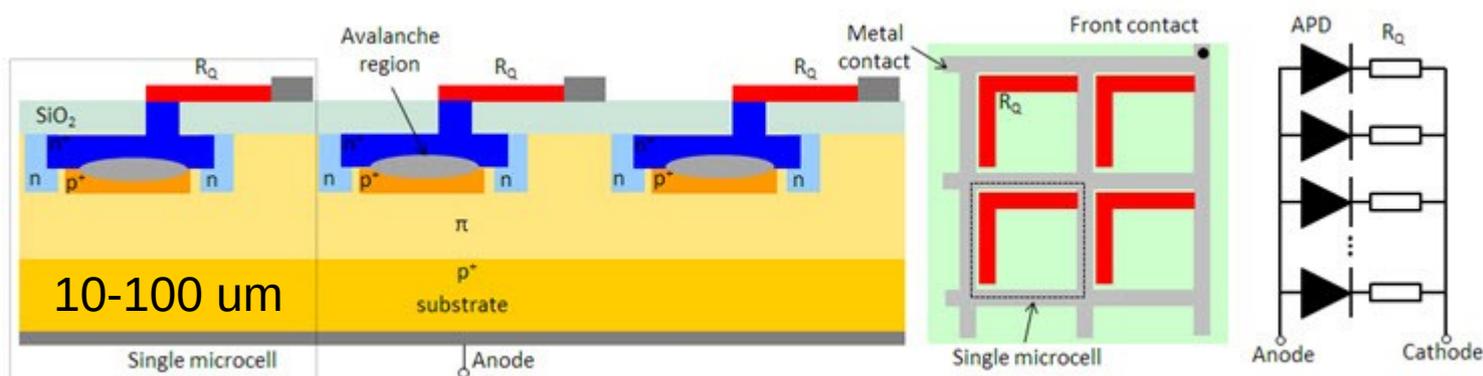
O requisito é a capacidade de medir sinais **rápidos** que podem vir de **um único fóton**

### **FOTOMULTIPLICADOR DE FOTOCÁTODO (PMT) 1934-36** 💡



HV 800-3000V; Ganho =  $10^5$ - $10^7$ ;

### **FOTOMULTIPLICADOR SILÍCIO (SiPM) 1940** 💡



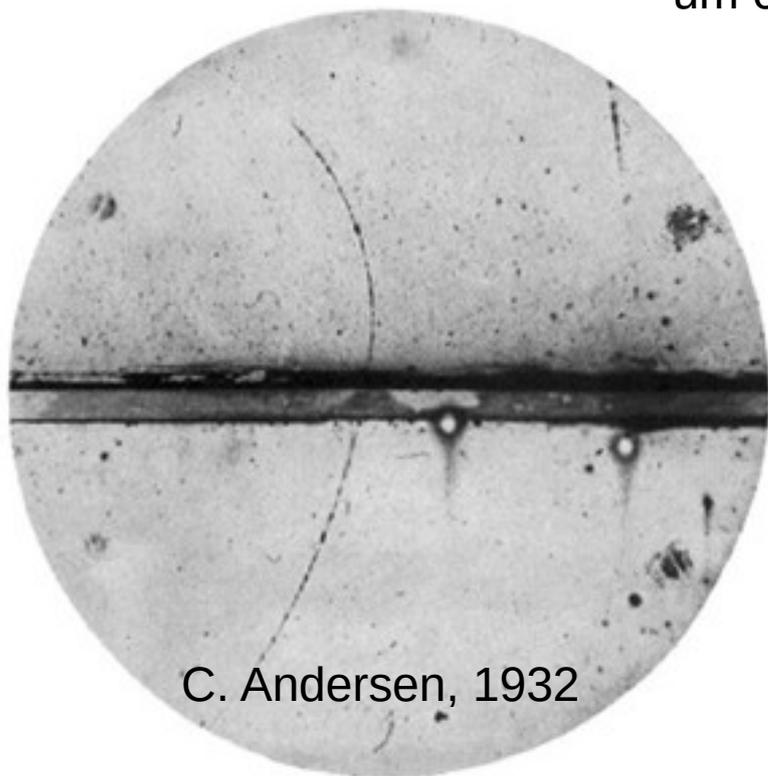
HV <100 V; Ganho =  $10^5$ - $10^7$ ;

# Detetores 1930s

Da Física de Partículas

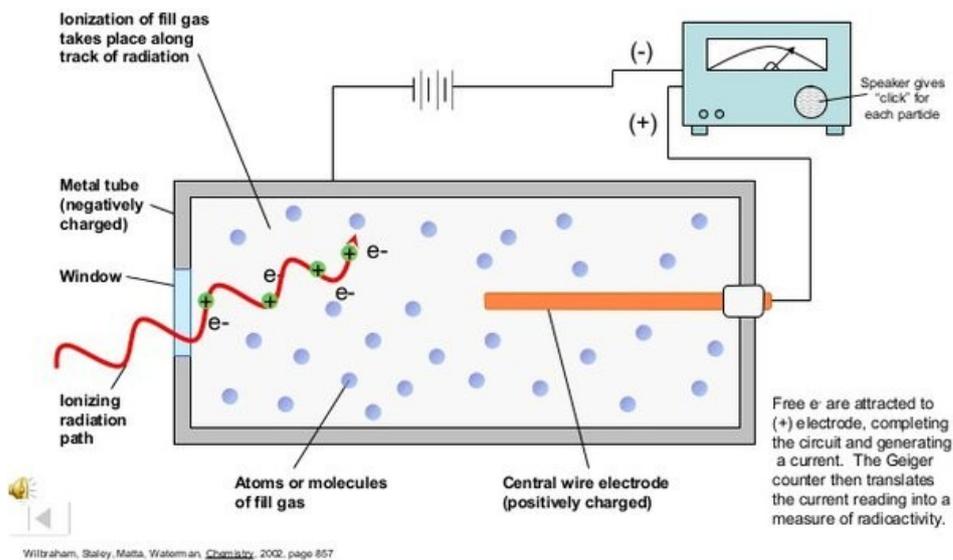
## Contador Geiger-Müller (Geiger, 1908 → 1928)

Cada partícula carregada provoca a ionização do meio gasoso. A informação final é imediatamente disponível com o auxílio de um circuito elétrico contador.



C. Andersen, 1932

## Geiger Counter



## Câmara de nevoeiro (E. Wilson, 1911)

Uma partícula carregada ioniza o ar saturado com vapor de água que resulta na sua condensação mostrando a sua trajetória. Os dados são fotografados e depois analisados. O sentido de curvatura do traço dá a carga da partícula.

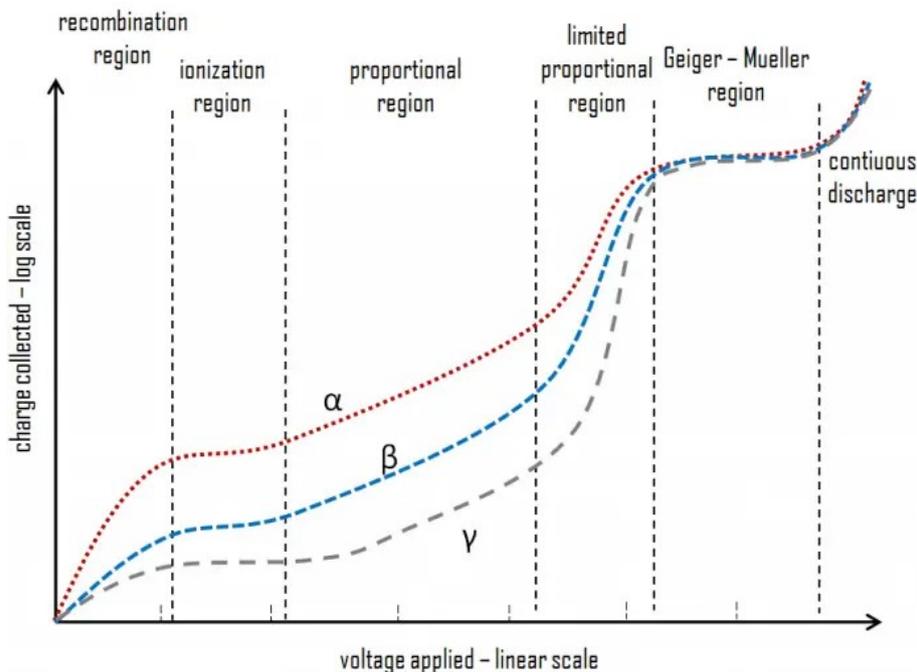
# Contador Geiger-Müller

Este detetor tem um funcionamento mais próximo dos modernos!

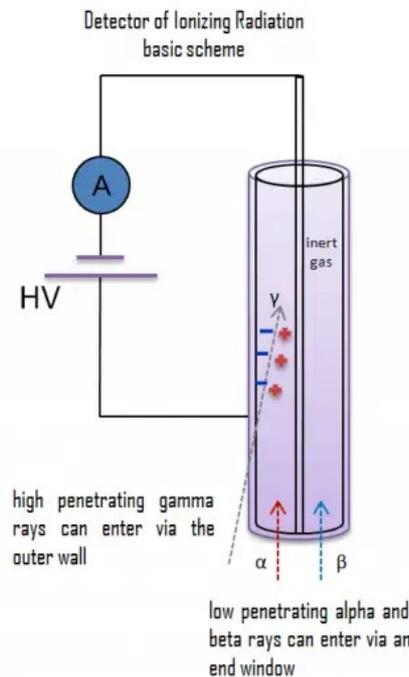
Um processo físico resulta na produção de um sinal elétrico!

Como é a taxa de partículas que atravessam esta sala?  
Constante, decrescente, crescente?

Regions of Gaseous Ionization Detectors

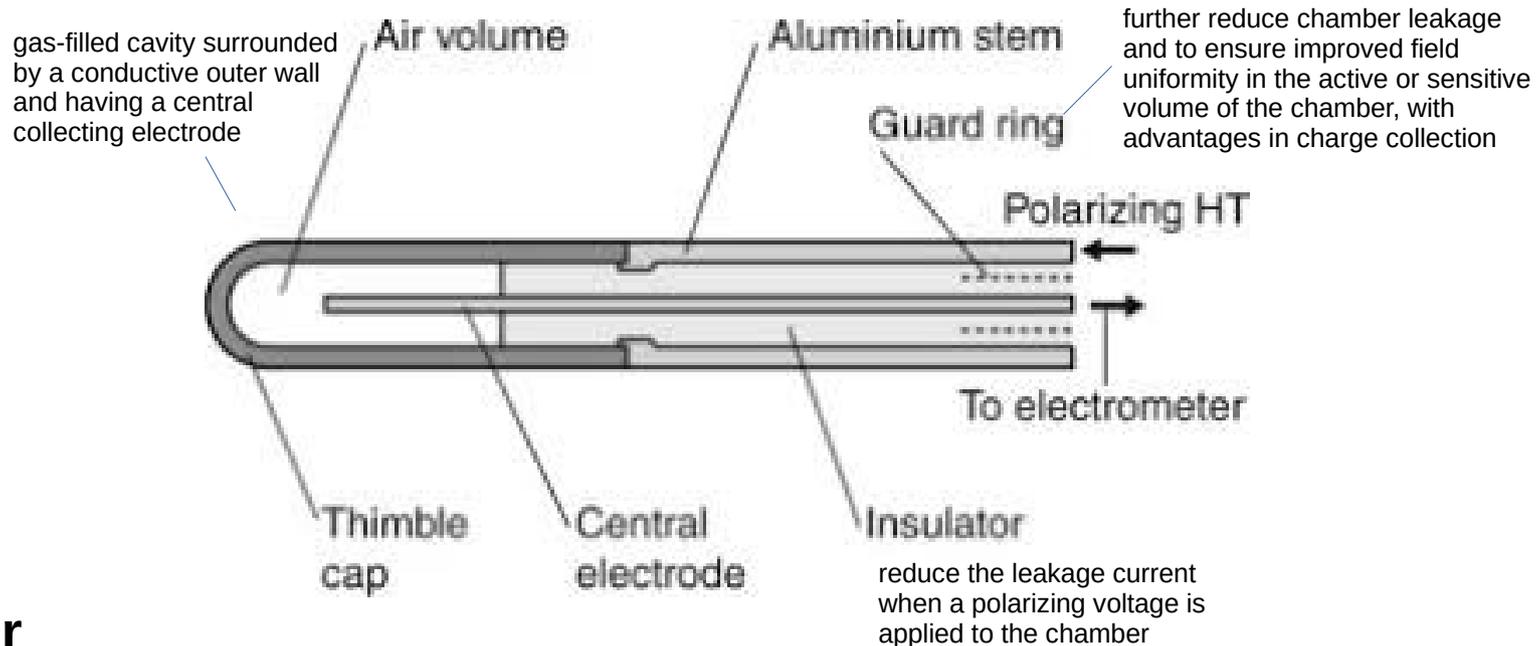


www.nuclear-power.net



Partículas ionizantes atravessam o detetor  
↓  
Ionização do gás  
↓  
Cascata de ionizações  
↓  
Sinal elétrico

# Câmaras de ionização



## Detetor

- Dosimetria médica em radiometria, radiobiologia
- Kerma no ar (**K**inetic **e**nergy released to **m**atter)
- Ao contrário dos Geiger-Müller funcionam a baixa tensão sem amplificação
- Sensível à energia/dose depositada e tipo de partícula

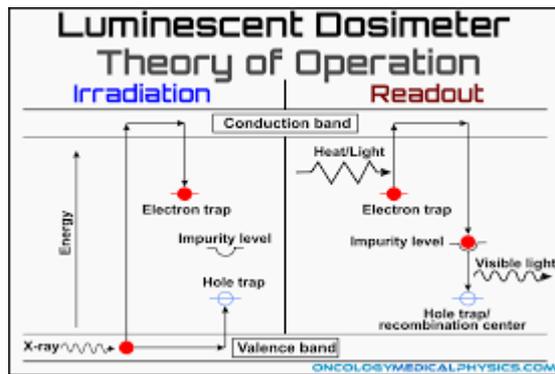
## Medição

- Um electrómetro mede a corrente/carga acumulada durante tempos relativamente longos (segundos)
- Sensibilidades para correntes da ordem do pA-nA
- Discriminação entre partículas



# Dosímetros passivos

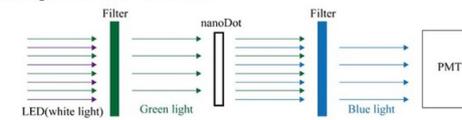
- TLD (Termoluminescência)  
Dose acumulada



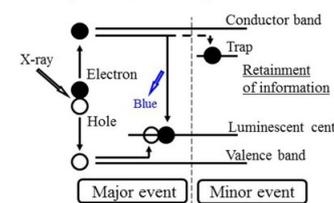
- OSL (Luminescência estimulada)  
Dose acumulada

Measurement principle of the OSL dosimeter

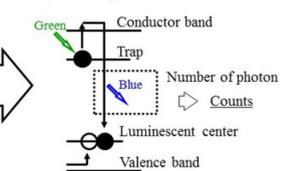
a) Reading of the nanoDot dosimeter



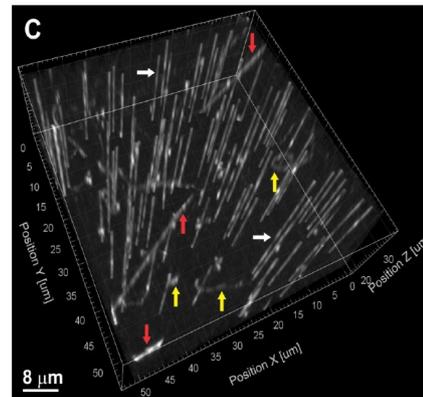
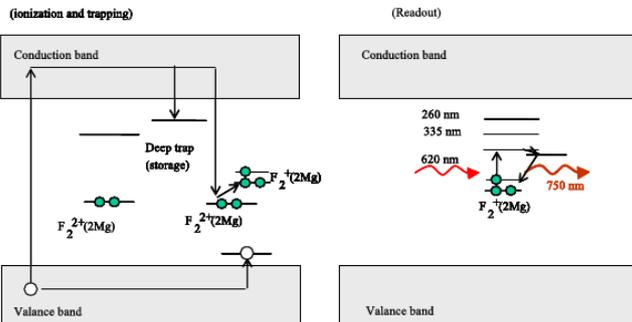
b-1) Irradiation of X-ray



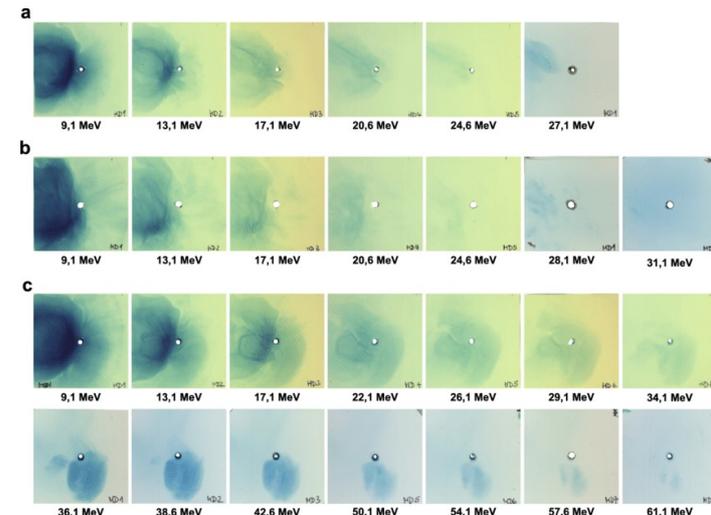
b-2) Reading of nanoDot



- FTND (Luminescência estimulada)  
Dose acumulada  
Detalhes de traços das partículas  
Descrição à micro-escala da dose

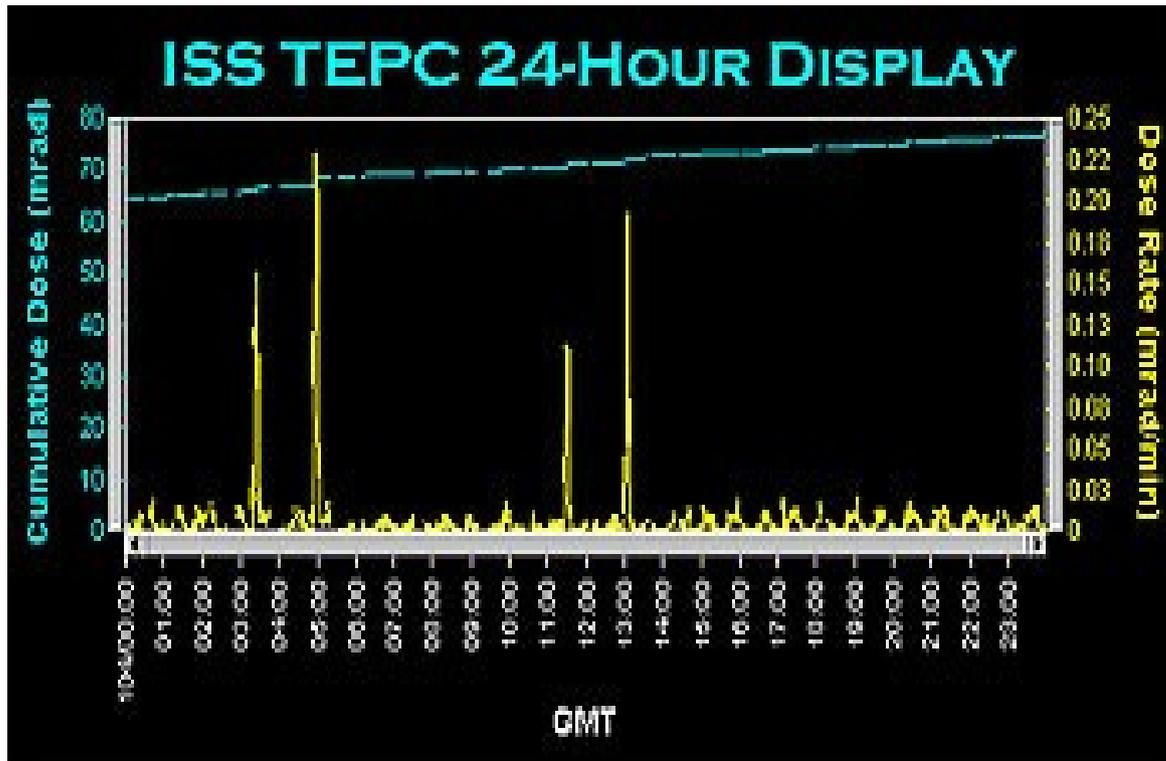


- GAFCHROMICH FILM  
Filme radio-sensível, calibrável  
Dosimetria em zonas extensas

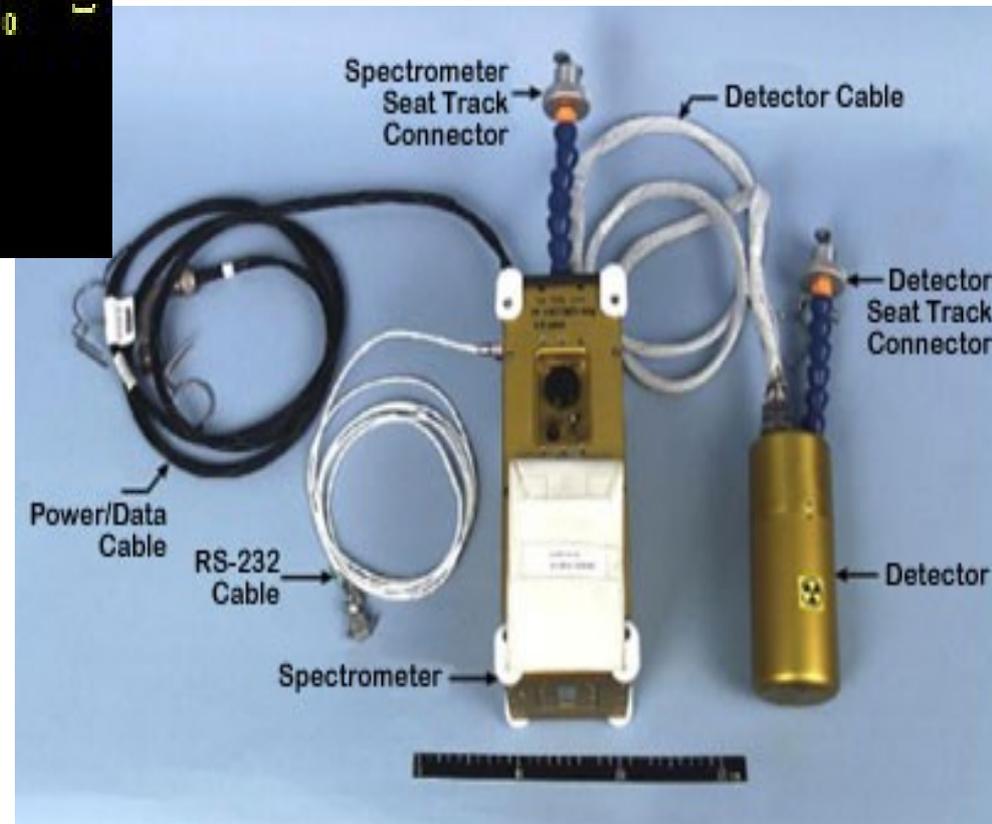


# TEPC

Tissue Equivalent Proportional Counter

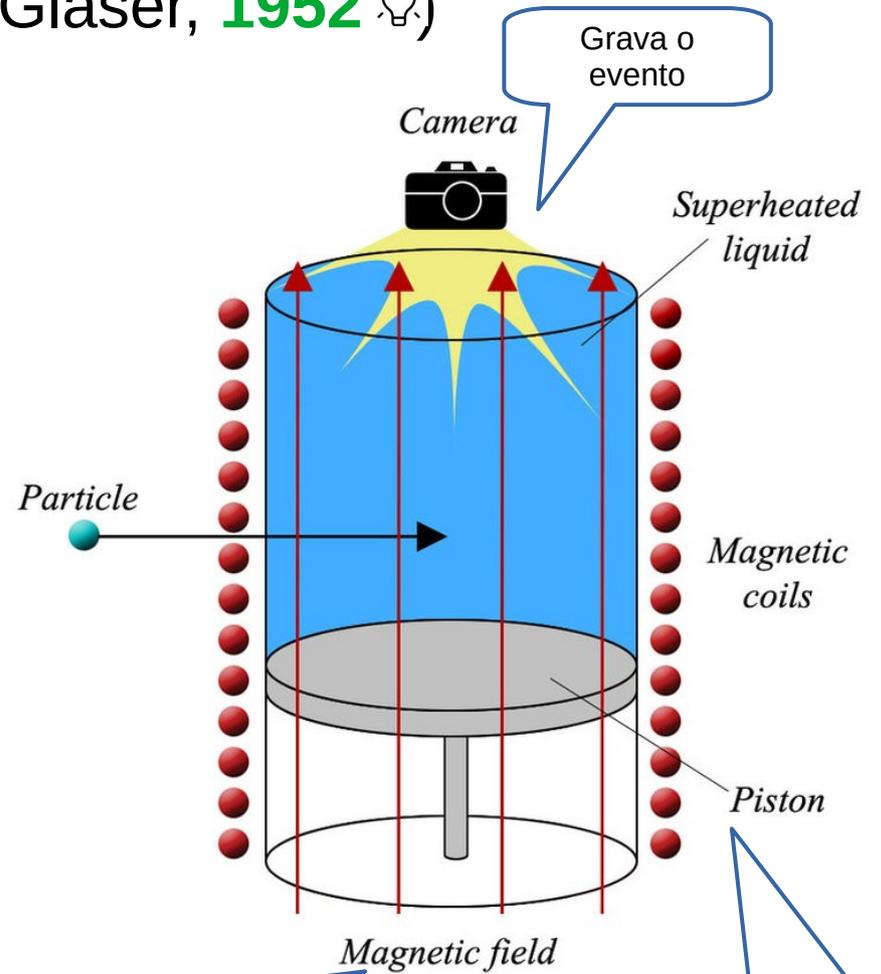


Onde claramente queremos saber tudo o que é possível sobre as partículas que atravessam ISS



# Detetores 1950's 60's

Câmara de bolhas (D. Glaser, 1952💡)

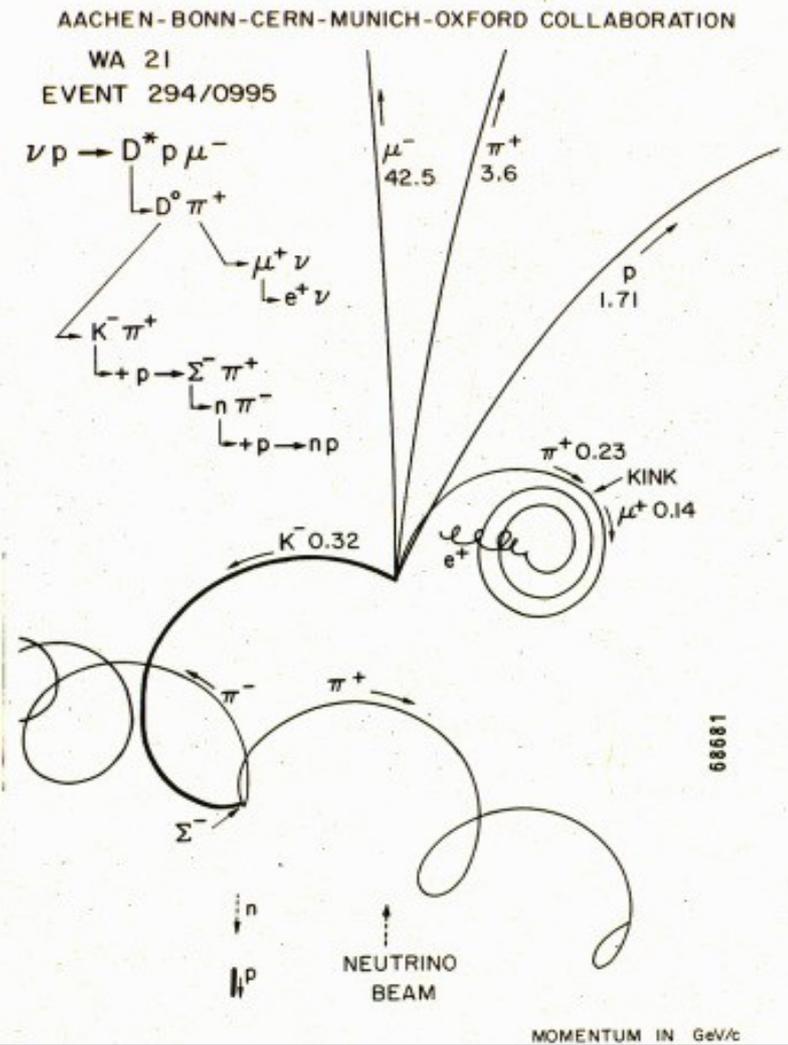
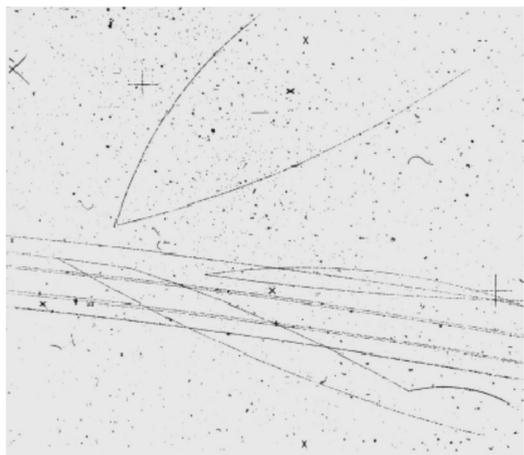
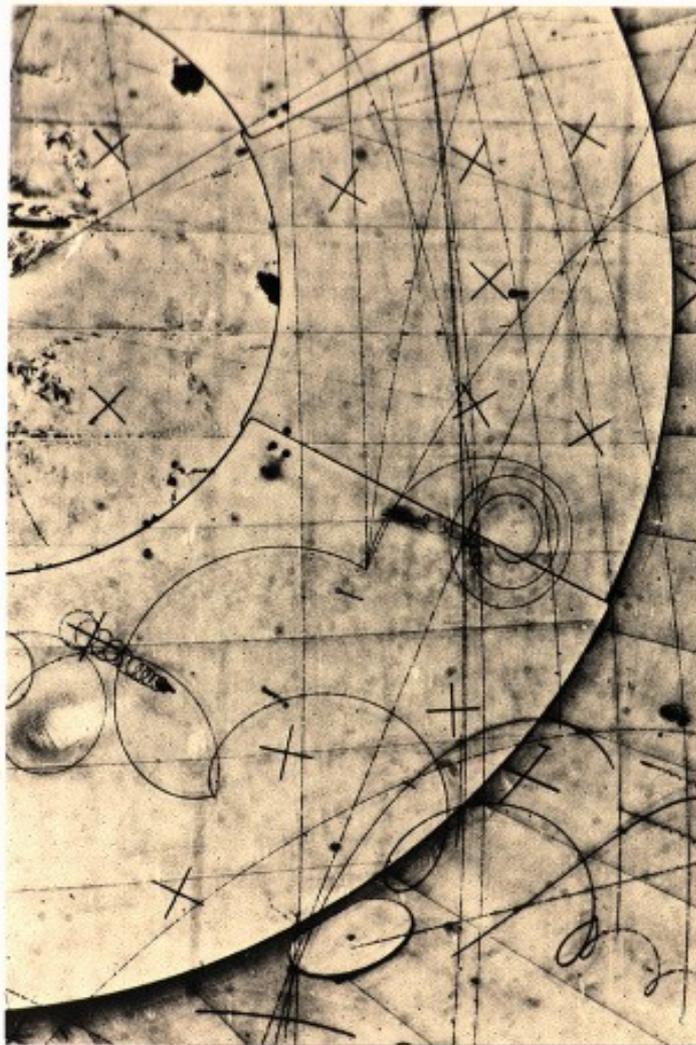


As partículas com carga positiva vão para um lado e as de carga negativa vão para o outro.

O pistão expande a câmara e melhora a eficiência do líquido super aquecido (H, He)

# Pequenas obras de arte

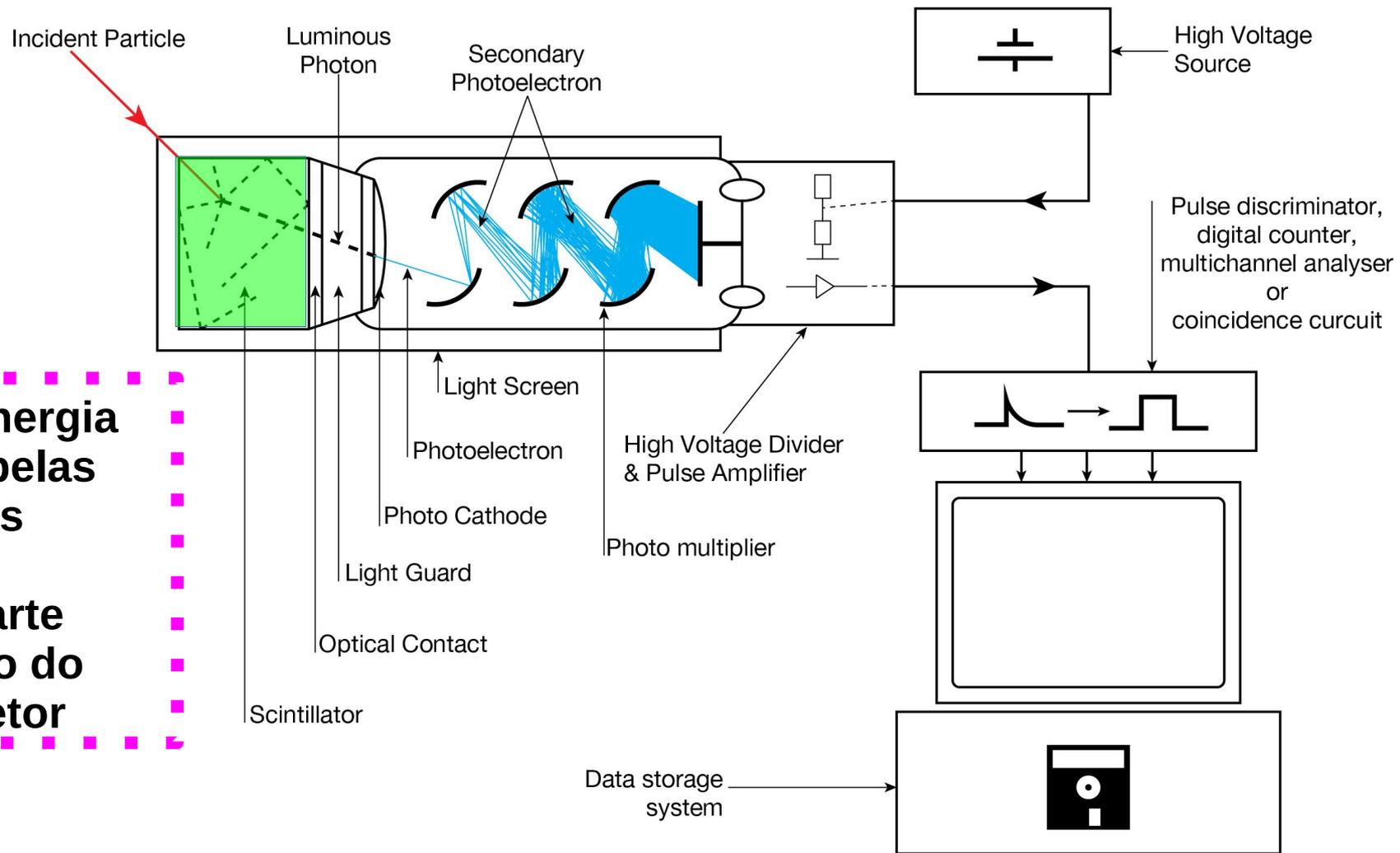
Um evento numa câmara de bolhas



# Mais recentemente ...

- Outros desafios tem aparecido que precisam de detetores tão especiais, específicos, como os anteriores:
  - Experiências de neutrinos
  - Procura de matéria escura
  - **BIG SCIENCE** Tevatrão, LEP, LHC
- Em muitos casos precisamos de volumes grandes
  - O sinal luminoso produzido é capturado por fotodetetores (PMTs)
  - O sinal elétrico (um impulso elétrico) que resulta da ionização do meio é capturado por circuitos elétricos desenhados para o efeito.

# Cintilação



Medimos a energia transferida pelas partículas

Toda ou parte dependendo do nosso detetor

Partículas interagem com o cintilador



Transferem  $E \sim E_{uv}$  ionizando as moléculas cintilantes



Fotões  $E < E_{uv}$  são emitidos fotões de cintilação



Sinal elétrico

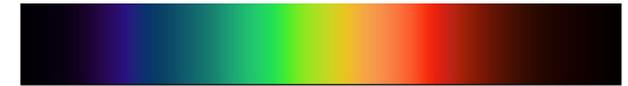
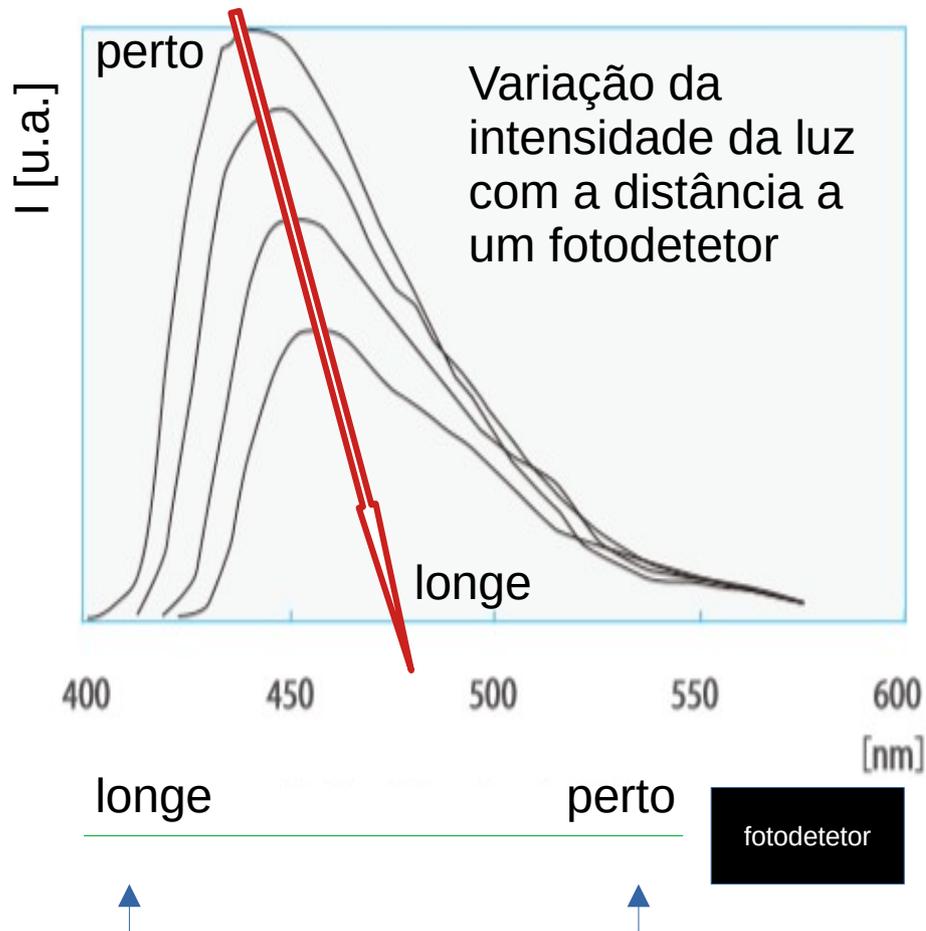
# Cintilação e fluorescência

## Cintilação

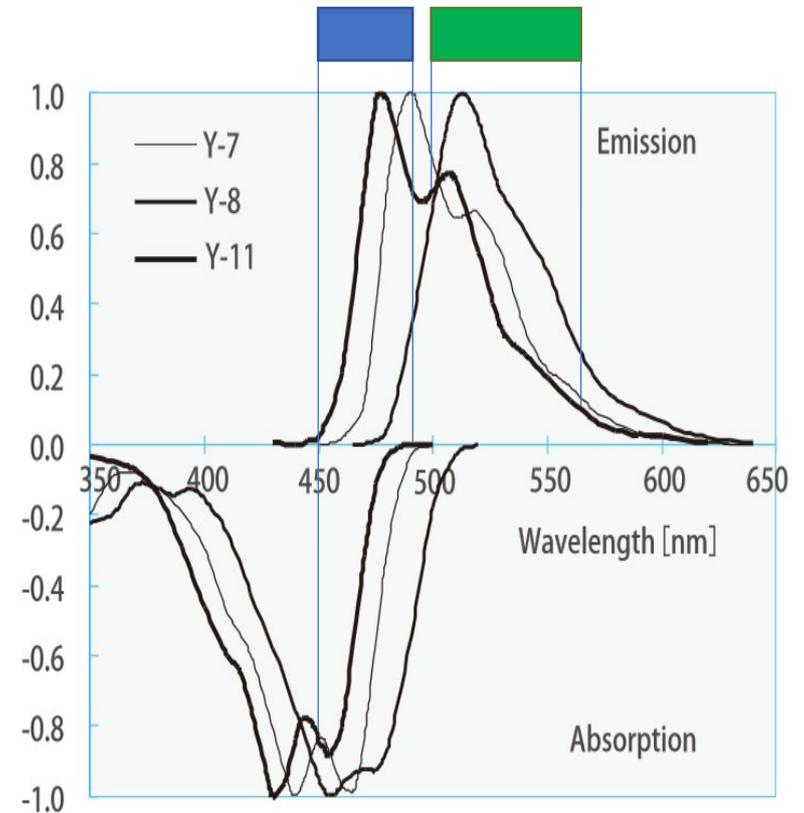
- Qualquer radiação ionizante.
- Luminosidade ( $N^\circ$  fótons)  $\propto$  Energia depositada

## Fluorescência

- Apenas fótons! De energia específica.
- $N_{\text{entrada}} \propto N_{\text{saída}}$



Azul Verde  
(450-485 nm) (500-565 nm)



Emissão e absorção de uma fibra óptica fluorescente **Y-11** (1 mm diam.)

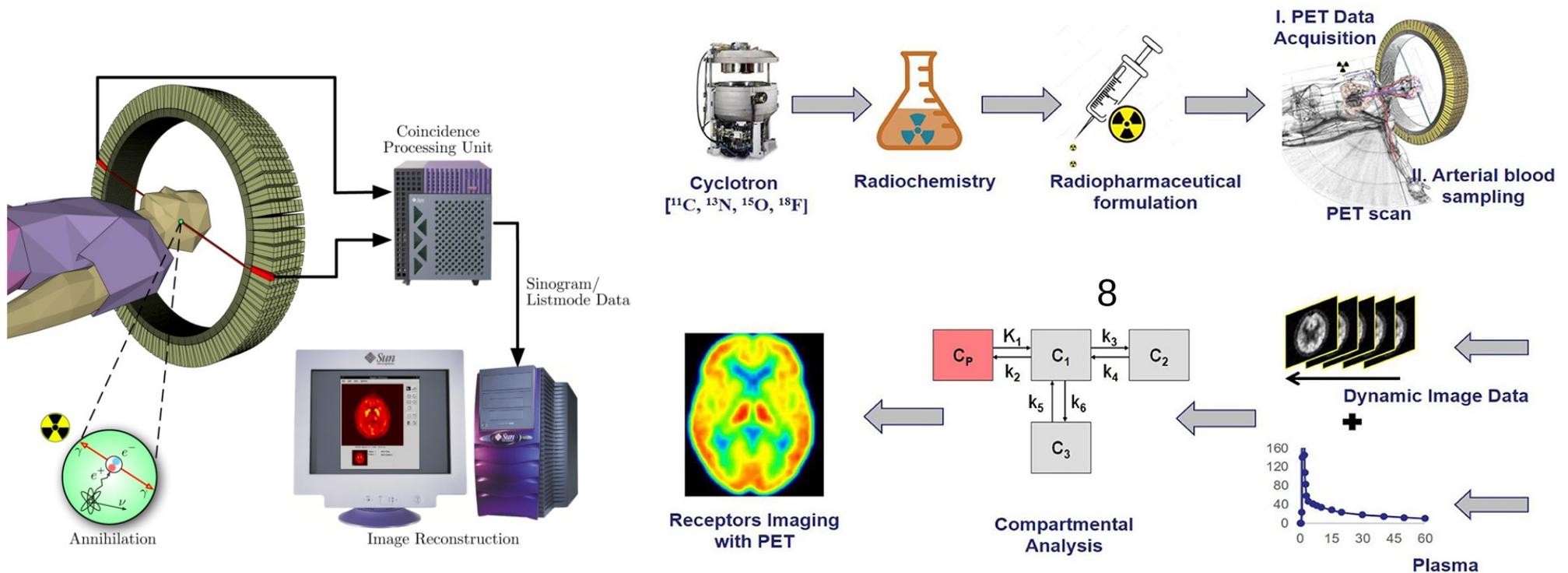
# PET

## Tomografia por emissão de positrões

### Aplicação do uso de cintiladores e outras tecnologias que surgiram na física de partículas

A aniquilação dos positrões provenientes do decaimento do radiofármaco aniquila-se com elétrons do corpo do paciente

O que se torna determinante é construir um detector que consiga produzir a imagem com a melhor resolução possível.





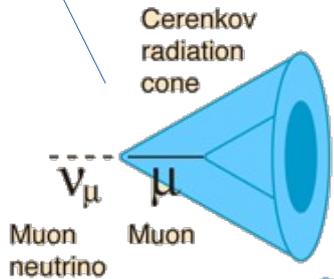
Esfera de acrílico com D=12 metros  
780 t de cintilador líquido (antes água pesada)

7000 t de água ultra pura para blindagem da radiação ambiente

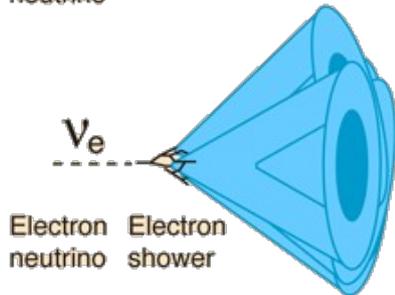
SNO+ Cintilação

SNO Cherenkov

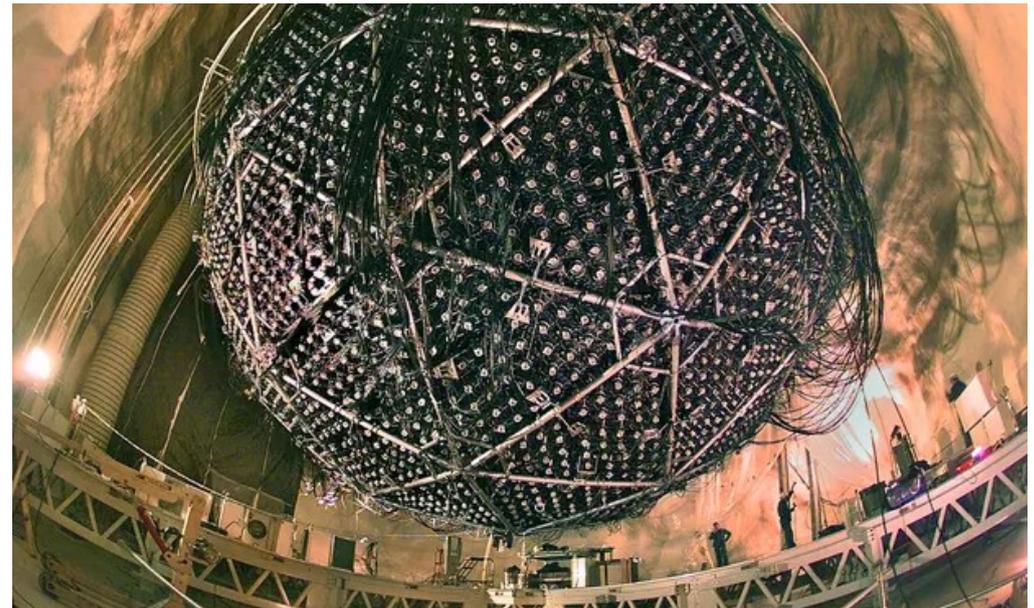
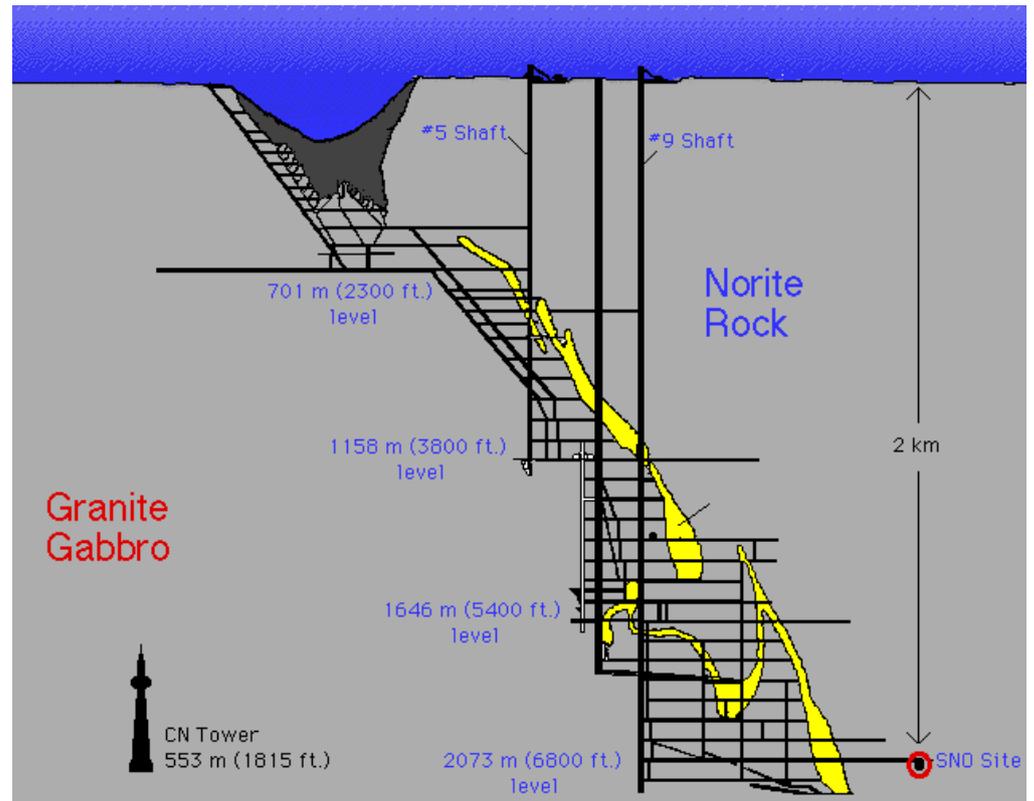
# PMTs



The Cerenkov radiation from a muon produced by a muon neutrino event yields a well defined circular ring in the photomultiplier detector bank.



The Cerenkov radiation from the electron shower produced by an electron neutrino event produces multiple cones and therefore a diffuse ring in the detector array.



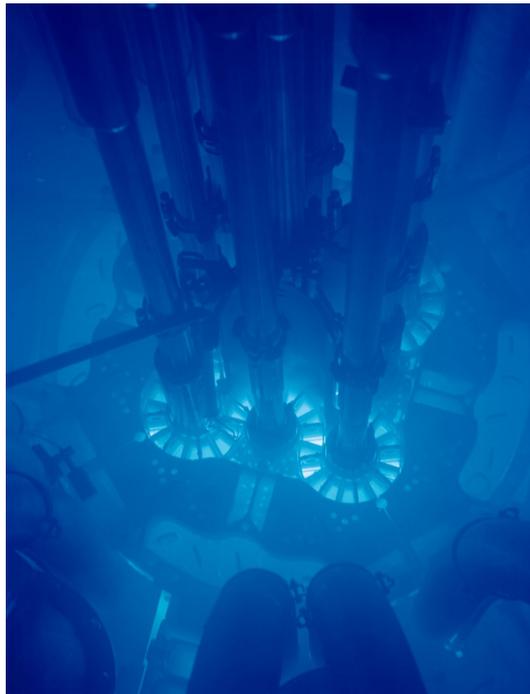
# Radiação de Cherenkov

Quando partículas carregadas se deslocam a

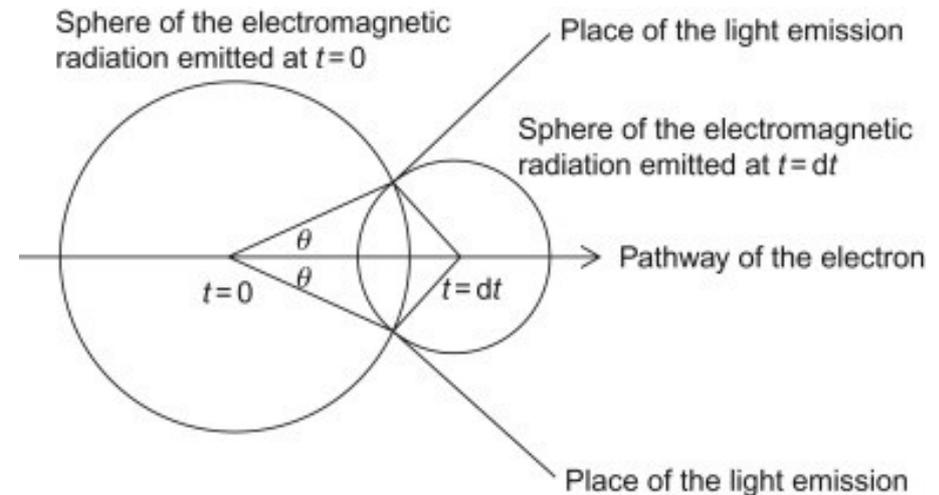
**velocidades mais rápidas que a luz num meio**

é produzida a radiação de Cherenkov.

Esta radiação é uma presença frequente em reatores nucleares



**A radiação de Cherenkov é direcional!**



**Quando ocorre satisfaz esta relação**

$$\cos \Theta = \frac{c}{nv}$$

**por exemplo sendo a água o meio:**

$$\text{H2O} \quad \frac{c}{n} = \frac{3 \times 10^8}{1.337} \text{ m/s} \approx 2.2 \times 10^8 \text{ m/s}$$

0.26 MeV

Se  $E_e > 0.26$  teremos Cherenkov

Utilizando o Mar Mediterrâneo ...

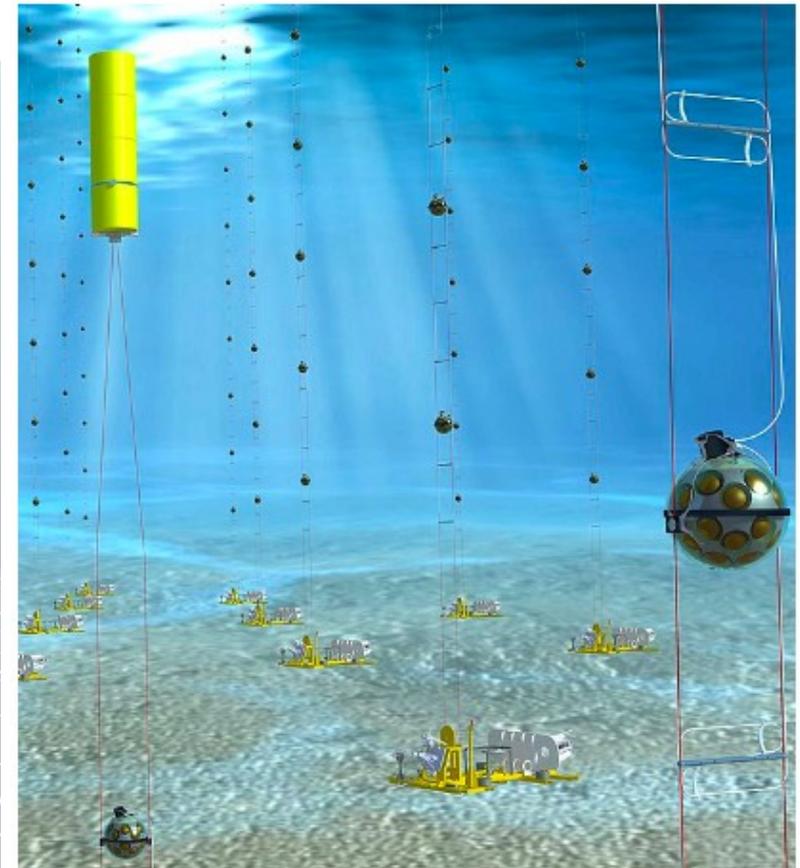
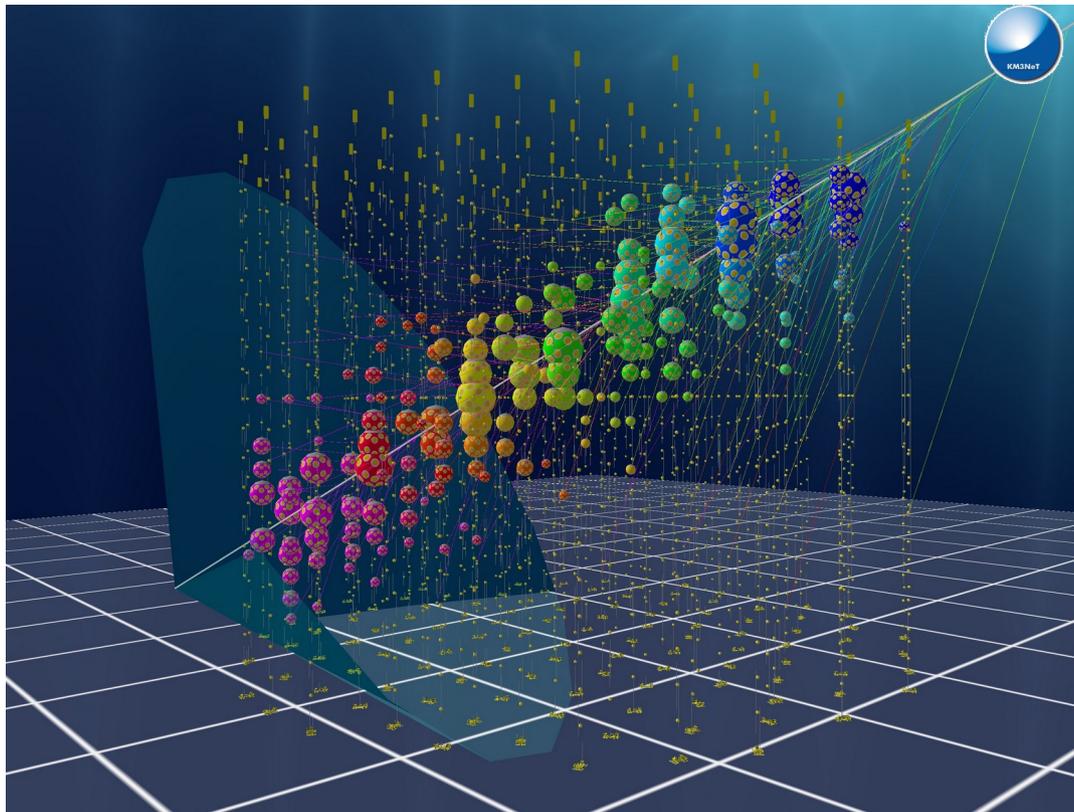
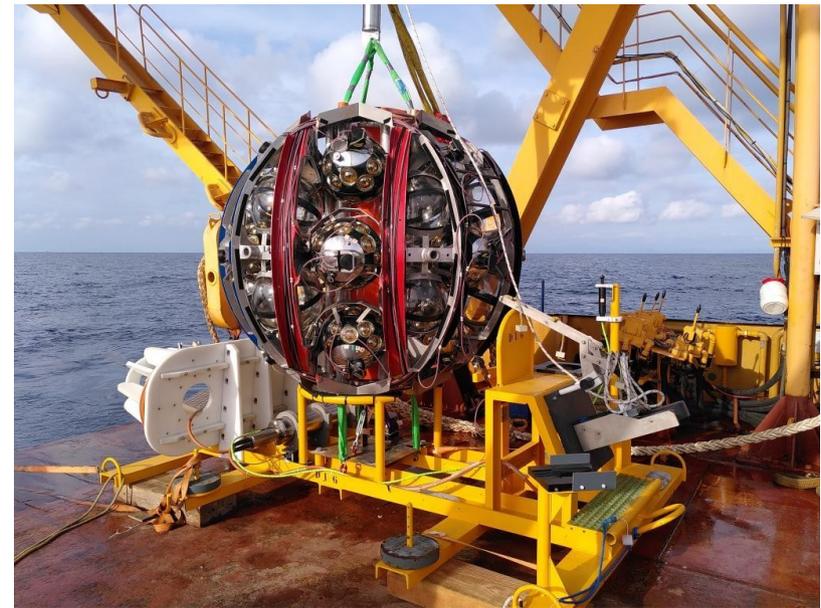
Radiação de Cherenkov

Antes já se tinham construído:

ANTARES ( Toulon, França)

NESTOR ( Grécia )

NEMO ( Sicília, Itália )





# ICECUBE

SOUTH POLE NEUTRINO OBSERVATORY

50 m

Ice Top



## IceCube Laboratory

Data is collected here and sent by satellite to the data warehouse at UW-Madison

1450 m

86 strings of DOMs, set 125 meters apart



## Amundsen-Scott South Pole Station, Antarctica

A National Science Foundation-managed research facility



## Digital Optical Module (DOM)

5,160 DOMs deployed in the ice

2450 m

IceCube detector

DeepCore

DOMs are 17 meters apart

60 DOMs on each string

Antarctic bedrock

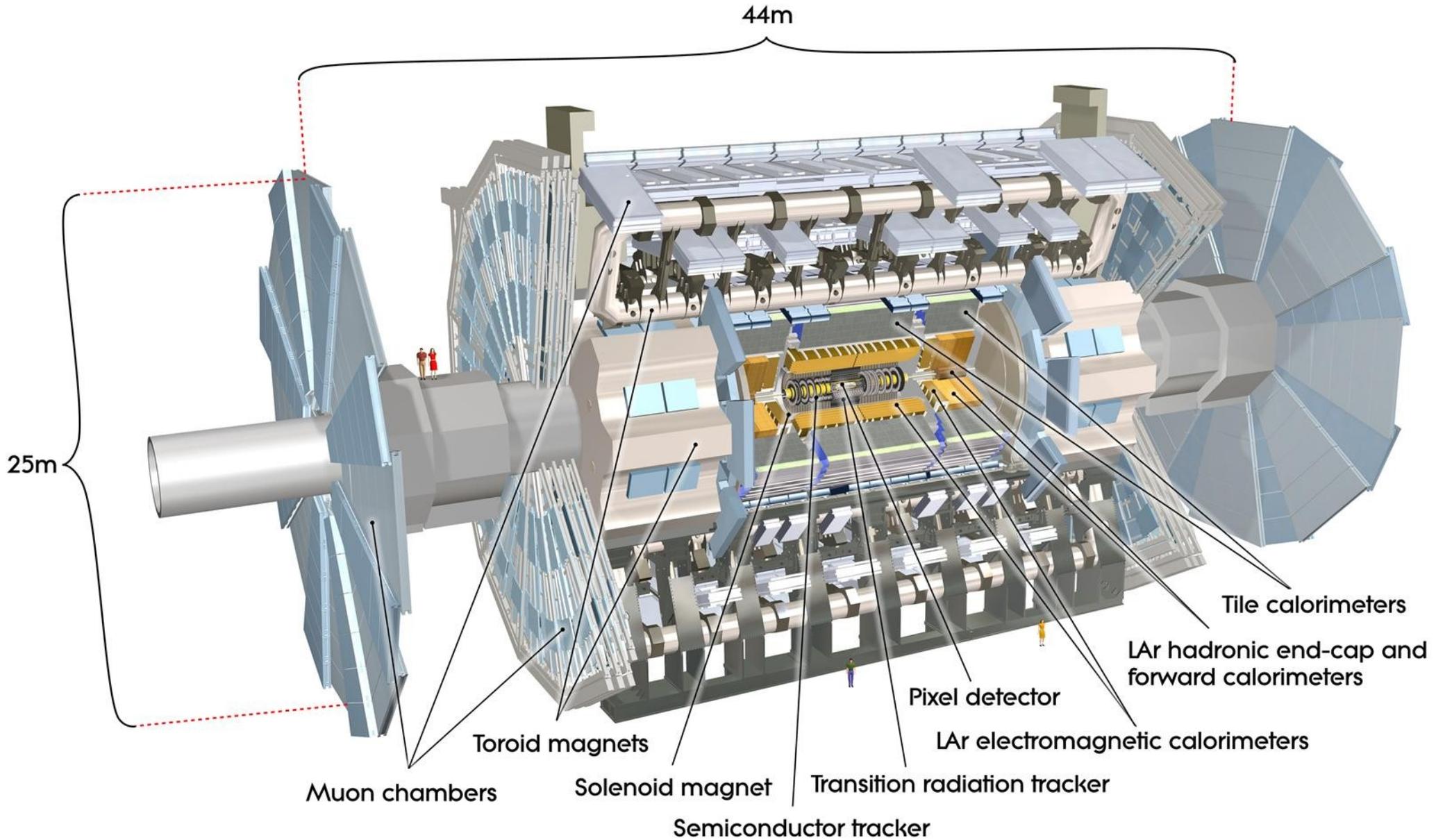


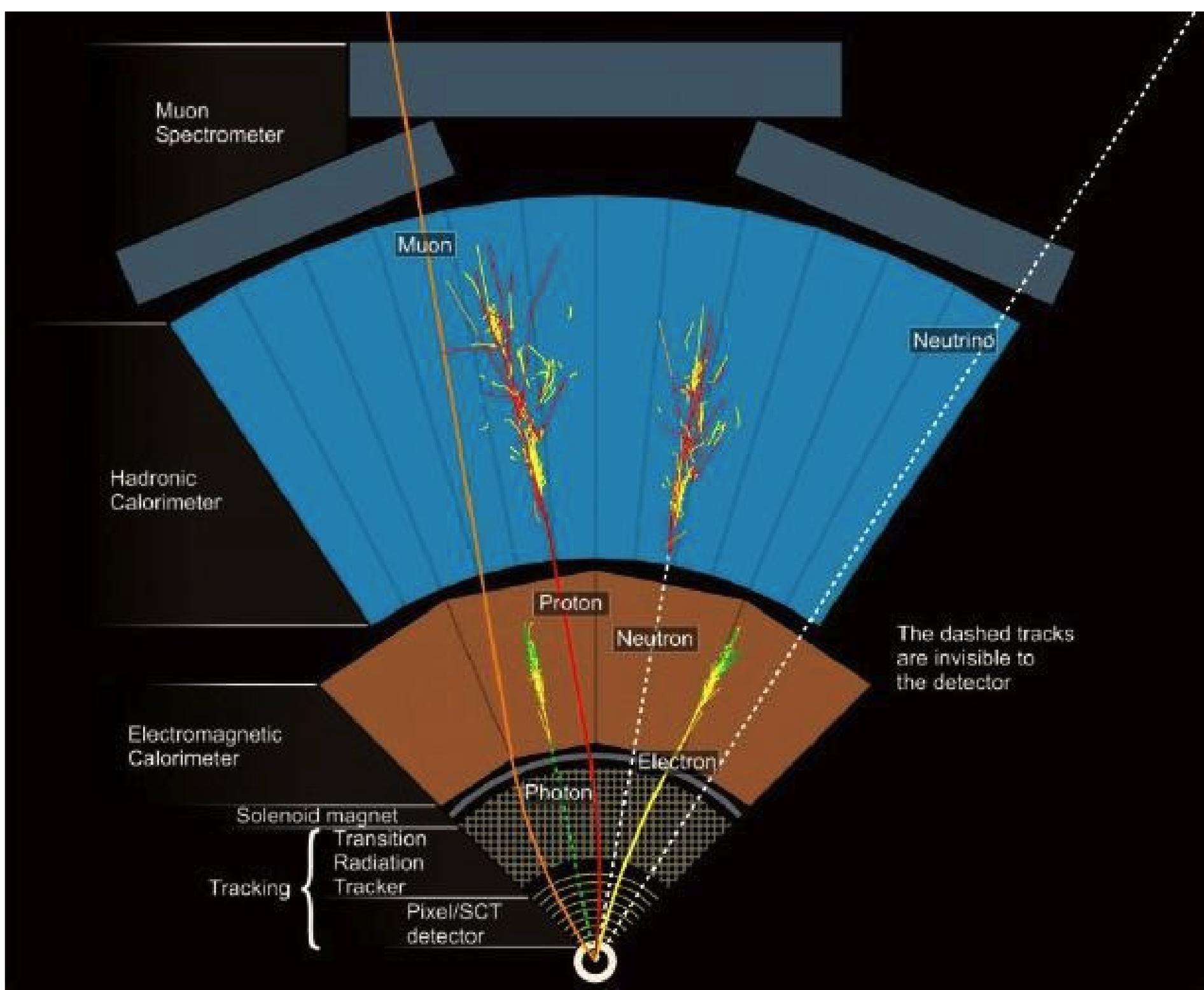
# Detetores por amostragem

- Misturam-se diferentes tecnologias
- Construimos detetores em todo semelhantes onde:
  - As partículas deixam marcas
  - E novamente o que utilizamos são sinais elétricos (cargas elétricas) ou luminosos (fotões)
- Da parte (amostragem) reconstruimos o todo:
  - Tipo I: Medição de trajetórias com elevada resolução espacial
  - Tipo II: Medição de energia com elevada resolução

**Resolução** é a capacidade de discernimento de um detetor i.e. a sua eficiência a separar/distinguir eventos baseado na medição de uma qq quantidade física ou geométrica.

# O Detetor ATLAS





# Traços

Todas as partículas carregadas!

## IBL+PIXELS (Silício, Ionização)

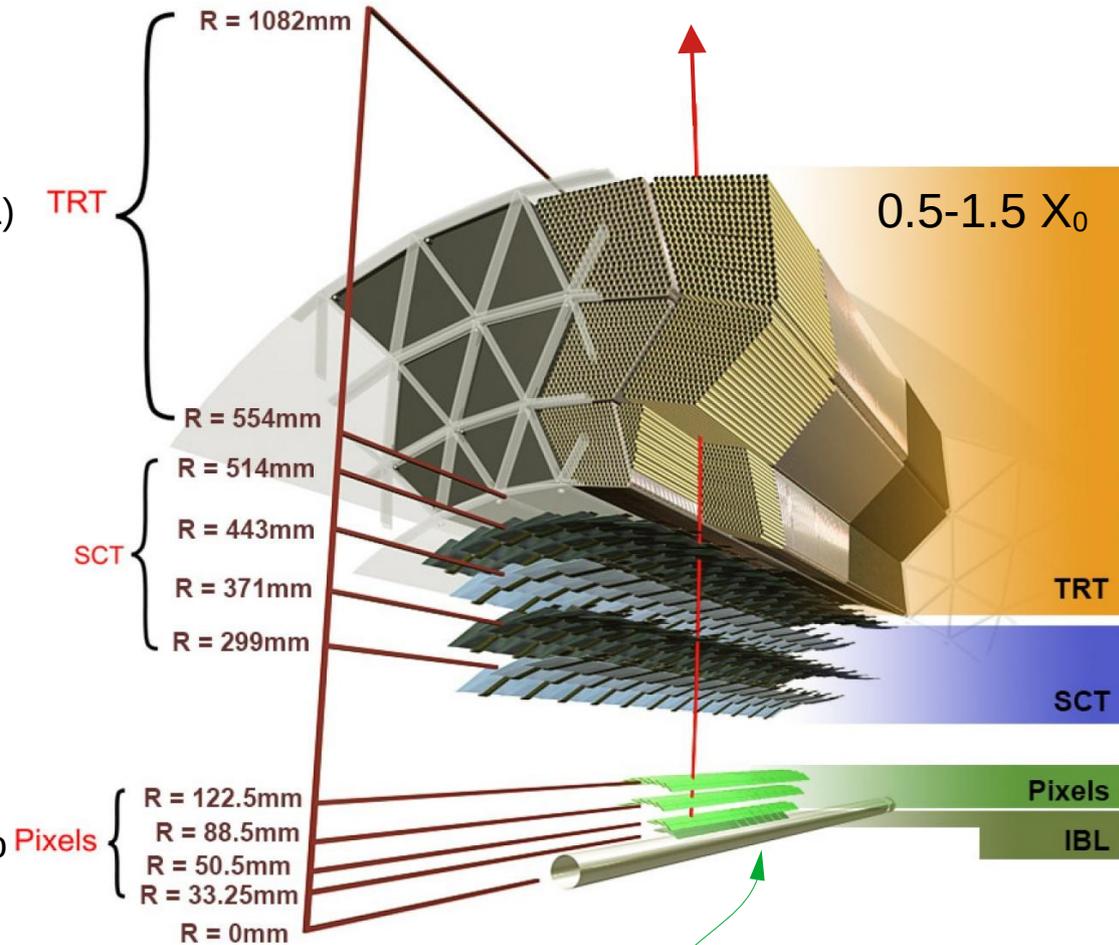
- 92M pixeis/canais
- Área silício approx. 1.9m<sup>2</sup>. (P~15 kW)
- Pixeis 50 x 400µm<sup>2</sup> (ext) e 50 x 250 µm<sup>2</sup> (IBL)
- 10 µm precisão

## SCT (Silício, Ionização)

- 6M faixas de leitura implantadas/canais
- 60m<sup>2</sup> de silício
  - 4 cilindros Barrel+ 18 planos Endcap
- Faixas de leitura a cada 80µm de silício
- 25 µm precisão

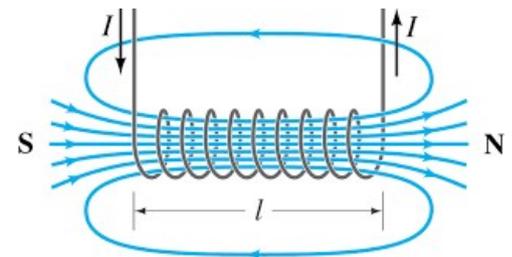
## TRT (Mistura de Gases, Ionização)

- Tubos com D=4mm com cátodo de tungstênio revestido a ouro D=0.03mm
- Detetor de radiação de transição (Xe) separa elétrons de piões
- 350,000 canais e volume 12m<sup>3</sup>
- 50,000 tubos Barrel (144 cm).
- 250,000 tubos Endcaps (39 cm)
- 0.17 mm precisão



Tubo do feixe de prótons D. ~ 50 mm

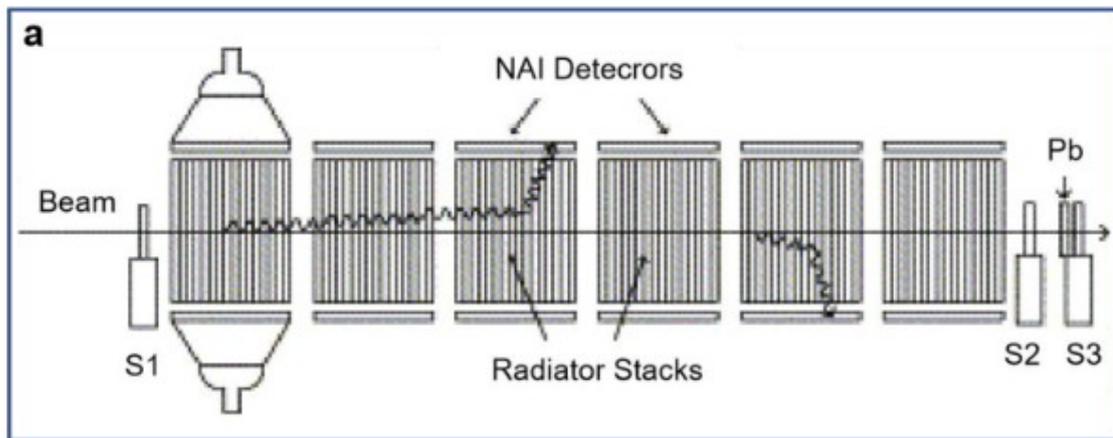
Campo magnético de 2 Tesla de um solenoide (L=5.8m; R=1.30 m) envolve o detetor de traços de ATLAS



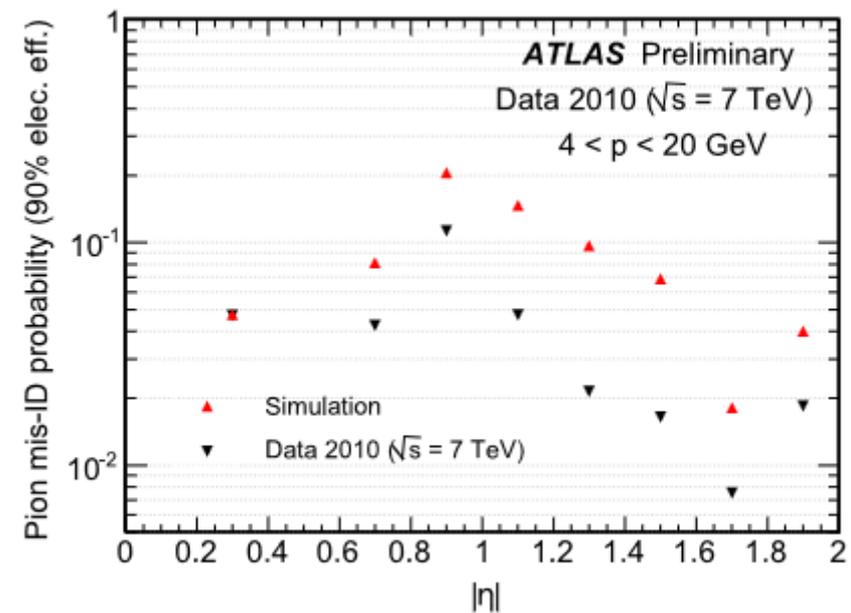
# Radiação de transição

Efeito que resulta de partículas carregadas atravessarem entre meios de **diferentes densidades** ou **meios não homogêneos** ou meios com **propriedades elétricas distintas**

**Não depende da velocidade das partículas como a radiação de Cherenkov!**



O detector é otimizado para um determinado fim como é exemplo a **separação píões e elétrons no TRT/ATLAS/LHC**

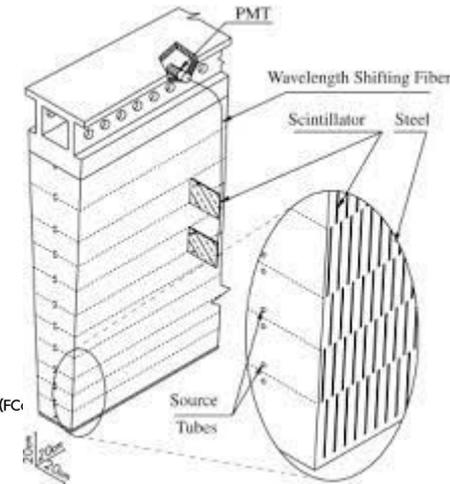
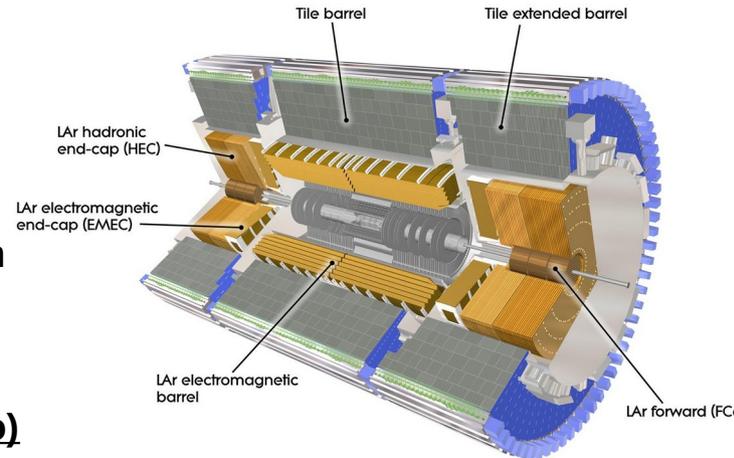


# Energia

## Todas as partículas

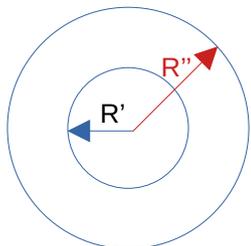
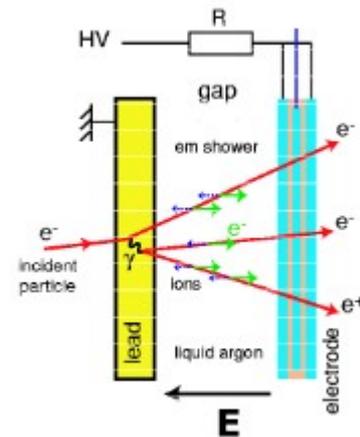
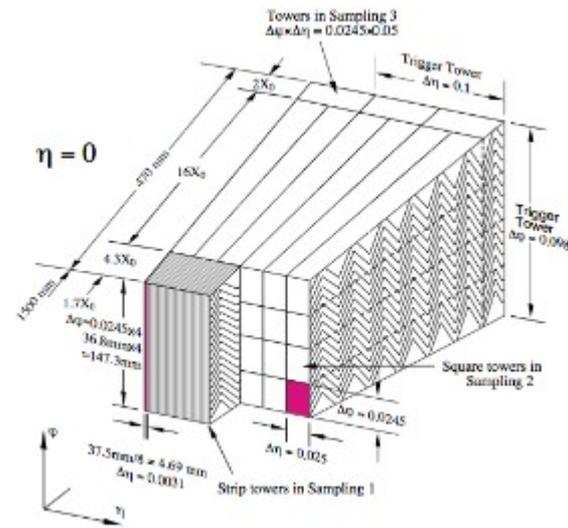
### Calorímetro de Argon Líquido (Ionização)

- Argon líquido a  $-184^{\circ}\text{C}$ , 110,000 canais
- Estrutura de Pb, Cu, Cu+W (Absorvedor)
- Barrel  $L=6.4\text{m}$  ,  $R=53\text{cm}$
- EM Endcaps  $L=0.632\text{m}$ ,  $R=2.077\text{m}$
- 2 HAD Endcaps  $L=0.8\text{m}$  e  $1.0\text{m}$  com  $R = 2.09\text{m}$
- 3 módulos Forward  $R = 0.455\text{m}$  e  $L = 0.450\text{m}$
- EM  $2 X_0$  ; HAD  $12 \lambda_1$



### Calorímetro de Telhas Cintilantes (Cintilação)

- 420,000 Telhas cintilantes/600,000 fibras óticas
- Estrutura de aço (Absorvedor)
- Peso = 2900 ton
- Central barrel com 64 módulos  $L=5.6\text{m}$   $R=1.5\text{m}$
- 2 Ext. barrels com 64 módulos  $L=2.6\text{m}$   $R=1.5\text{m}$
- 9,500 canais
- $10 \lambda_1$



$$R=R''-R'$$

$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{a}{\sqrt{E}} \oplus \frac{b}{E} \oplus c$$

# Traços

## Só muões!

### Trigger (gasosos, ionização)

RPC (Resistive plate chambers), TGC (Thin gap chambers)

Resposta a cada 25 ns (40 MHz) usado no 1º nível do trigger para selecionar eventos

440k + 440k canais

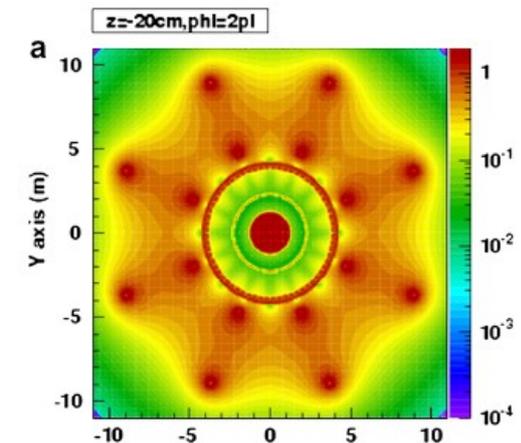
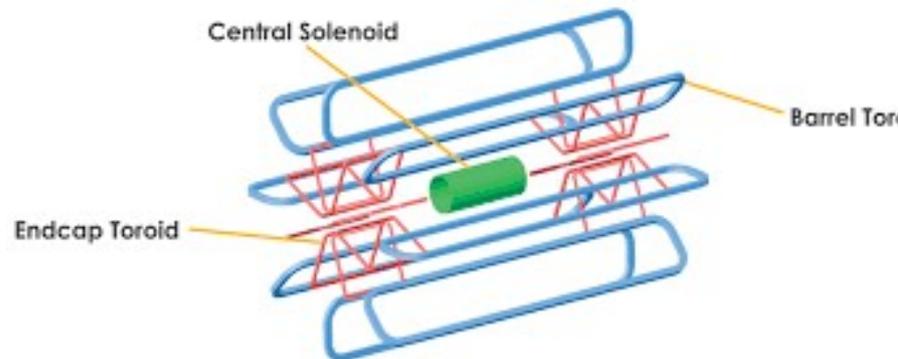
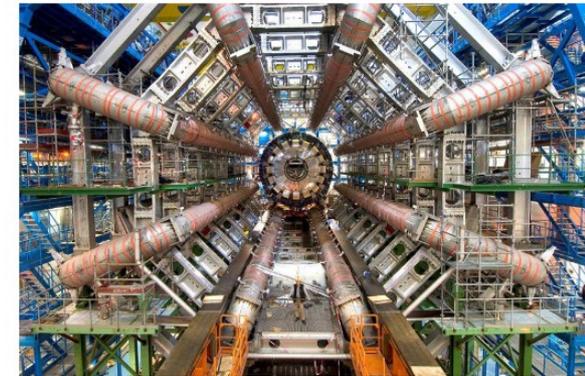
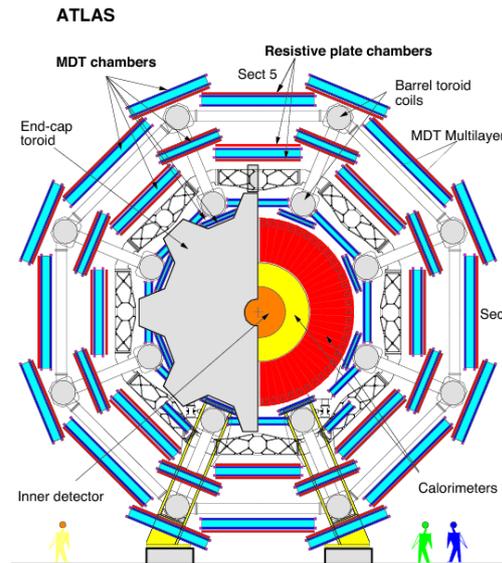
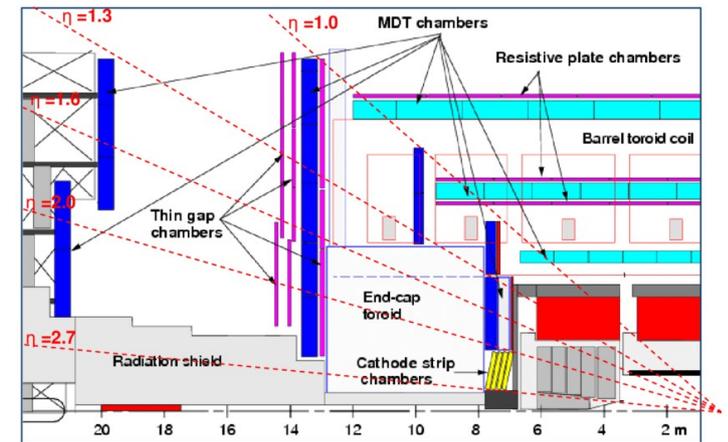
### Alta resolução (gasosos, ionização)

MDT (Monitored drift tubes), CSC (Cathode strip chambers)

380k tubos de alumínio de deriva D. 3mm  
precisão < 80  $\mu$ m

### Campo magnético toroidal

4 Tesla



# Sumário

- Um pequeno retrato de detetores utilizados no dia-a-dia até ao ambiente da física de partículas
- Princípios de funcionamento semelhantes, de facto estamos quase sempre a falar da deteção de fotões ou a medição de uma corrente elétrica ou a coleção de carga
- Dimensões e características ajustáveis para obter detetores com características diferentes
  - CI vs GM
  - Volume segmentado e heterogéneo vs Volume homogéneo
  - Etc.

FIM

Perguntas?