Prácticas de Verano SAPHIR-UNAB 2024

Introducción a detectores

UNAB CAMPUS CASONA

Enero 8, 2024

Marco Ayala Torres

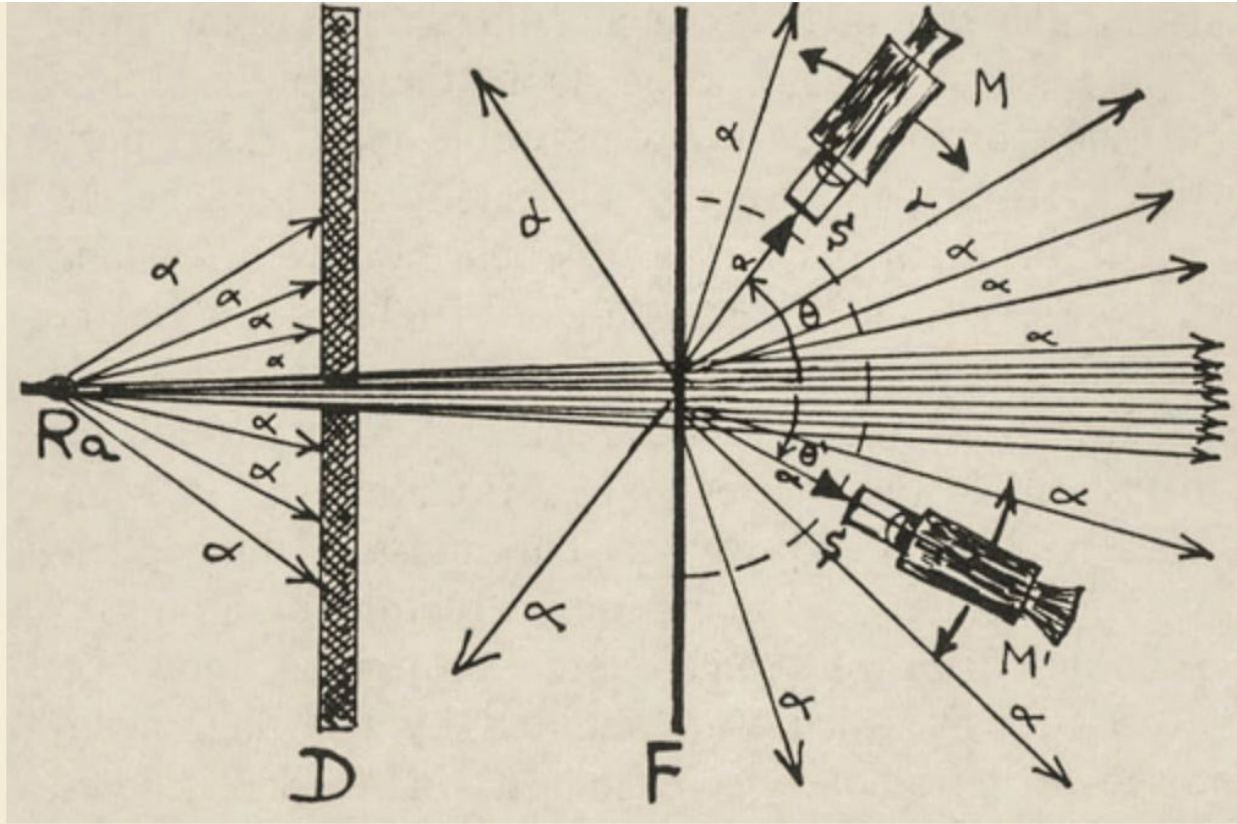
Detectores: Características generales

Contenido

1. **Ejemplo: Detectores centelladores**
    a. **Sensibilidad**
    b. **Respuesta del detector**
    c. **Resolución energética**

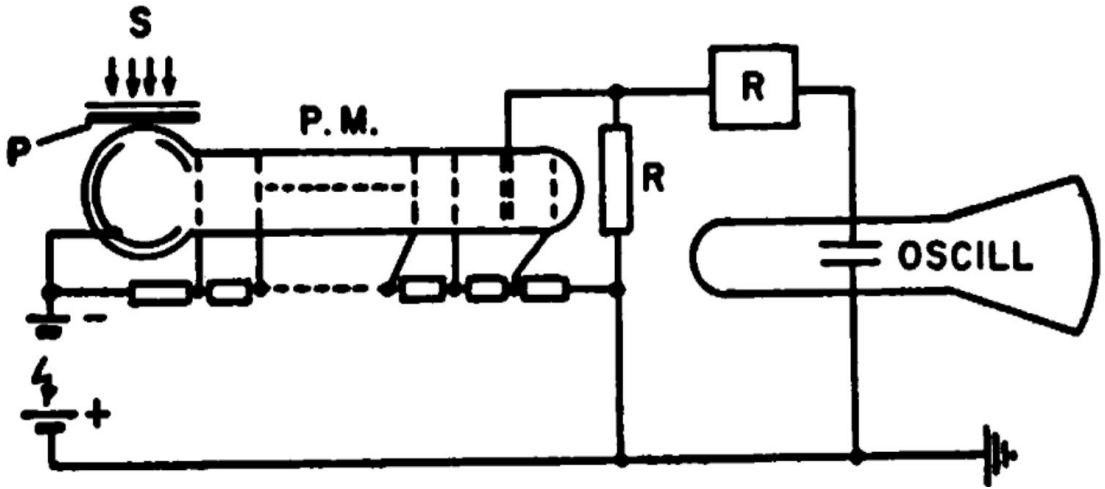
2. **Fuentes de partículas**
    A. **Rayos cósmicos (secundarios)**
    B. **Mapa nuclear**
    C. **Aceleradores (colisionadores)**

Detectores centelladores [1908-1913]



George Gamow, Thirty years that shook physics: The story of quantum theory

Primeros contadores de centelleo [1947]



Coltman y Marshall[1]: alpha

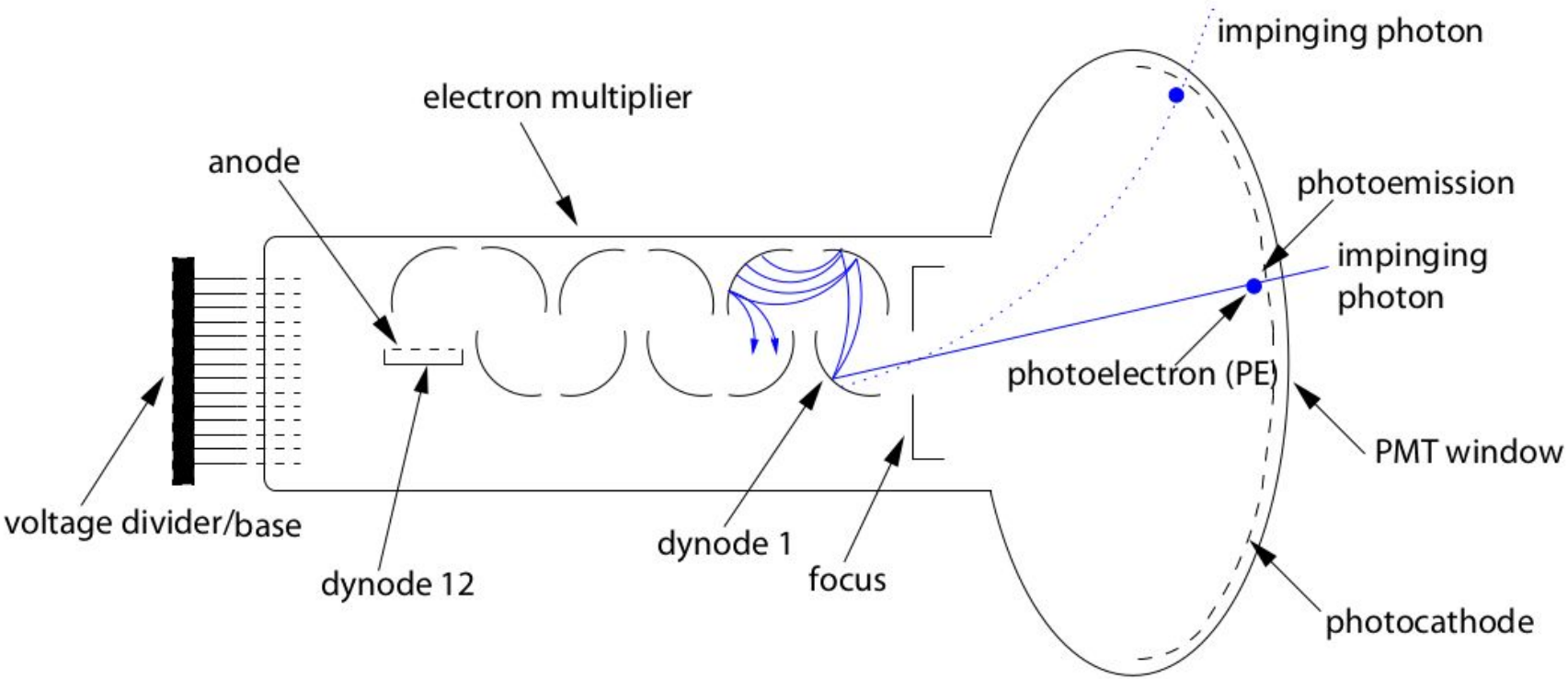
Broser y Kallmann[2]: Beta-particles, Gamma-rays, High-energy electrons, Protons, …

1. Coltman, J. W., and Marshall, F. H., Phys. Rev., 72, 528A (1947); Nucleonics, No. 3, 58 (1947).

2. Broser, I., and Kallmann, H., Z. Naturforsch., 2a, 439 and 642 (1947). Kallmann, H., Natur and Technik (July 1947).

3. Early History of the Scintillation Counter, A. T. Krebs Science, 122 (1955)

Tubos fotomultiplicadores (PMT)



Tubos fotomultiplicadores (PMT)

- **Una tecnología ampliamente estudiada y de fácil operación**
- **Buena eficiencia de detección (10-30%)**
- **Niveles bajos de ruido (útiles para eventos con poca energía depositada)**
- **Operan con altos voltajes (10^2 -10^3 V)**
- **Típicamente utilizan un volumen grande**
- **Su operación se ve afectada en campos magnéticos**

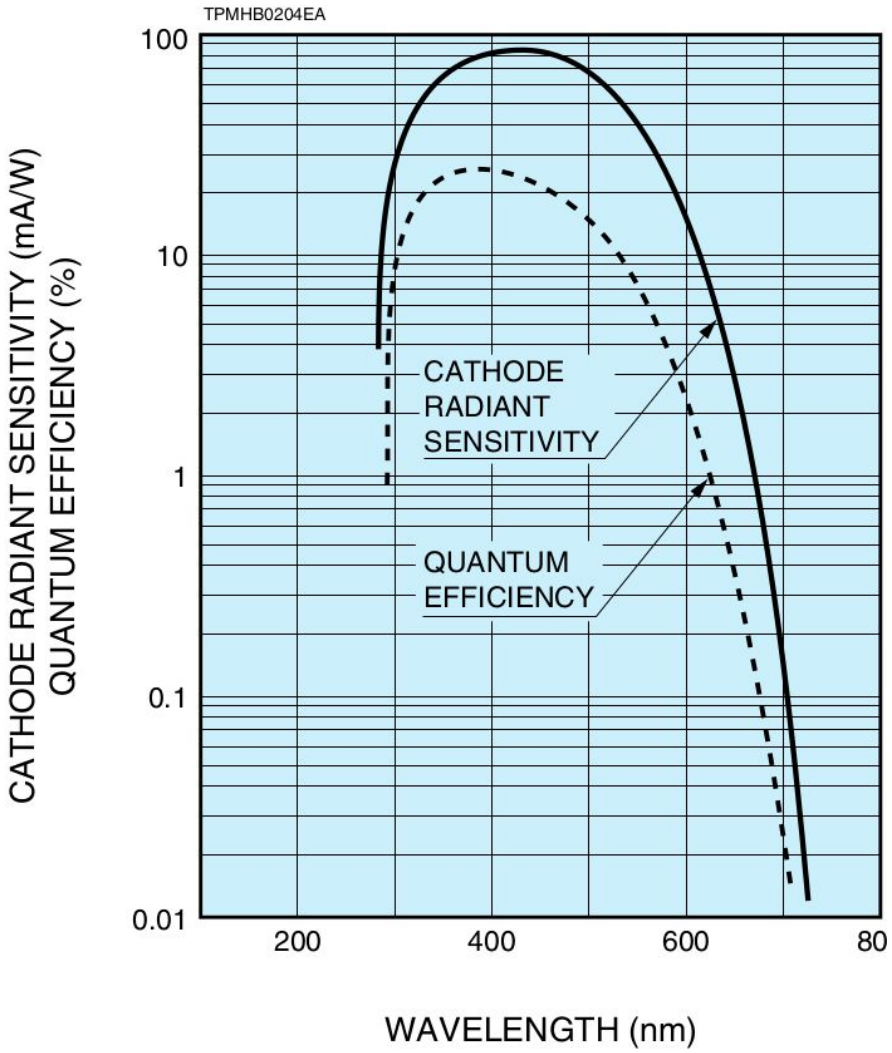
Tubos fotomultiplicadores (PMT)

- **Una tecnología amp**
  estudiada y de fácil operació
- **Buena eficiencia de**
  (10-30%)
- **Niveles bajos de ruido (út**
  eventos con poca energía de
- **Operan con altos voltajes (10**
- **Típicamente utilizan un**
  grande
- **Su operación se ve afe**
  campos magnéticos

Respuesta espectral

La **eficiencia cuántica** es el cociente entre el **número de electrones de salida** y el **número de fotones incidentes**.

La sensibilidad radiante corriente generada respecto a la energía incidente en el PMT



Sensibilidad

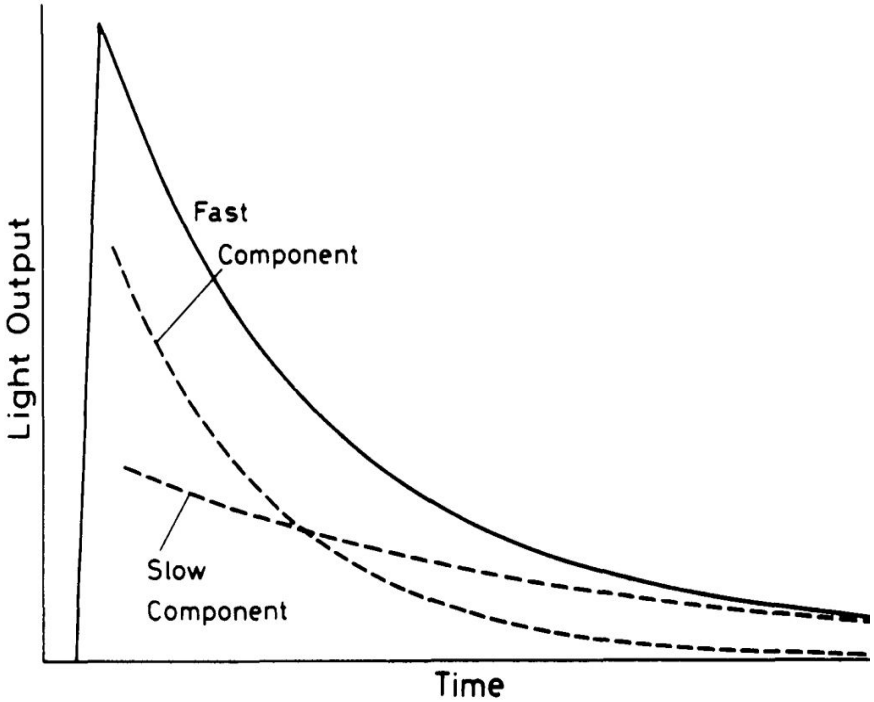
Capacidad del detector de producir una señal utilizable para **un tipo dado de radiación y energía**. Salir de esta región generalmente resulta en una señal inutilizable o una eficiencia muy reducida.

Las partículas cargadas son altamente ionizantes. Si la ionización que se produce en el detector, se encuentra bajo una **cierta cantidad mínima** no tendremos una **señal sea utilizable**. Este **límite inferior viene determinado por el ruido del detector y de la electrónica asociada.** El ruido aparece como un voltaje o corriente fluctuante en la salida del detector y siempre está presente si hay radiación o no.

Un segundo **factor limitante es el material que cubre la ventana de entrada al volumen sensible del detector**. Debido a la absorción, solo se puede detectar radiación con suficiente energía para penetrar esta capa. El espesor de este material establece así un límite inferior de la energía que puede ser detectada.

Plásticos centelladores

$$N = \frac{A_f}{\tau_f}\tau_f \exp(-\frac{t}{\tau_f}) + \frac{A_s}{\tau_s}\exp(-\frac{t}{\tau_s})$$



Características:

1. Sensibles a la energía de las partículas

2. Rápida respuesta temporal

3. Discriminación por forma de la señal

4. Alta resistencia a la radiación

Se pueden encontrar en una amplia variedad de aplicaciones científicas e industriales:

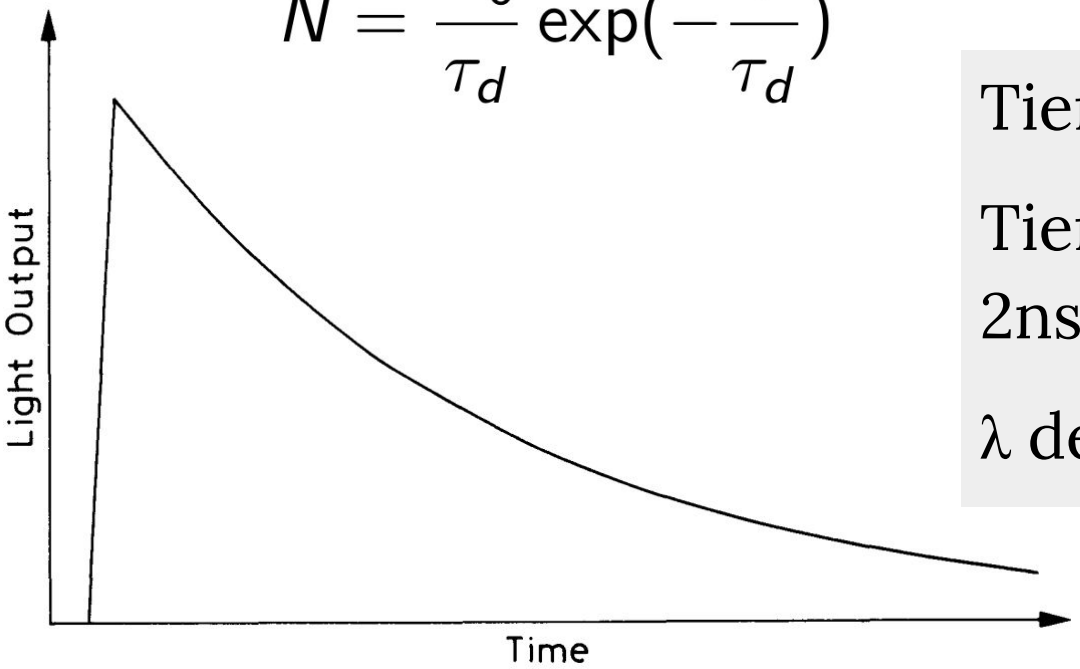
1. Tracking, triggers y calorimetría

2. Diagnóstico por imagen en medicina

3. Monitoreo de haz en terapia de hadrones

Plásticos centelladores ultra-rápidos

$$N = \frac{N_0}{\tau_d} \exp(-\frac{t}{\tau_d})$$



Tiempo de subida < 1 ns

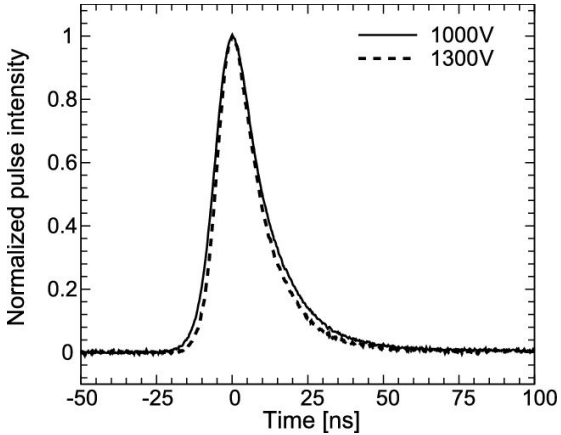
Tiempo de decaimiento < 2ns

λ de emisión: 300 - 420 nm

Contador

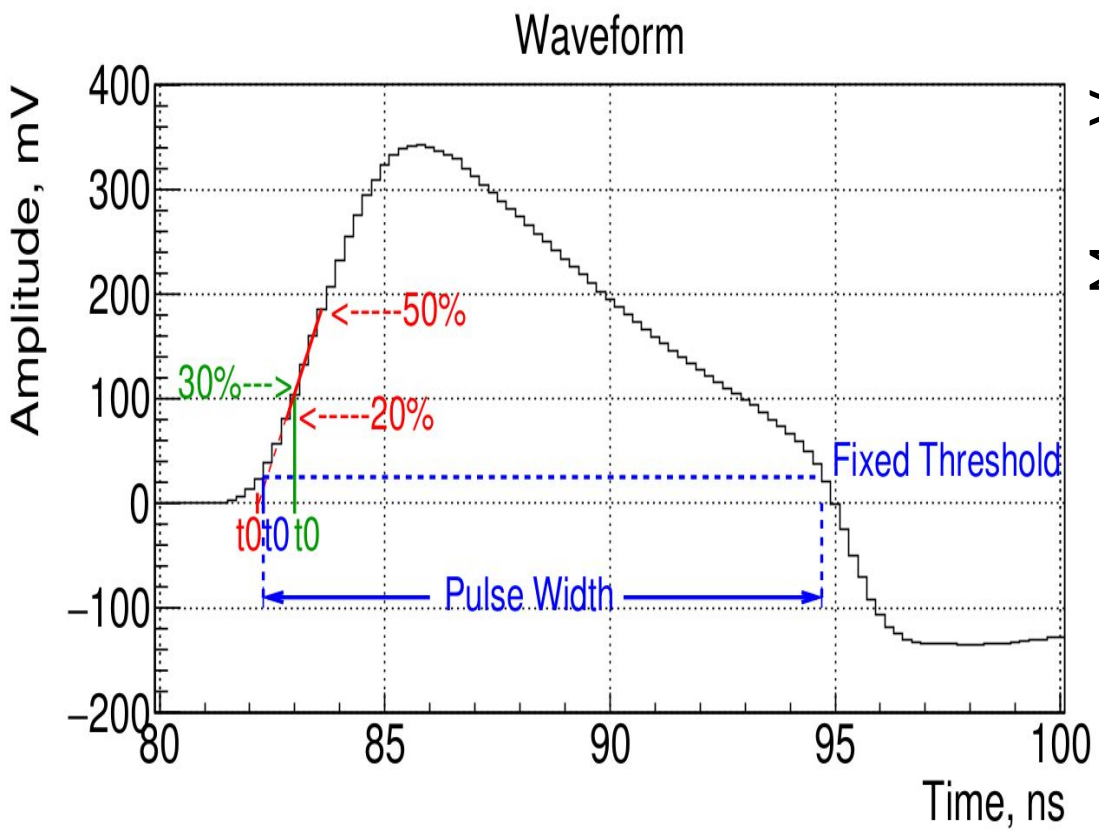
+

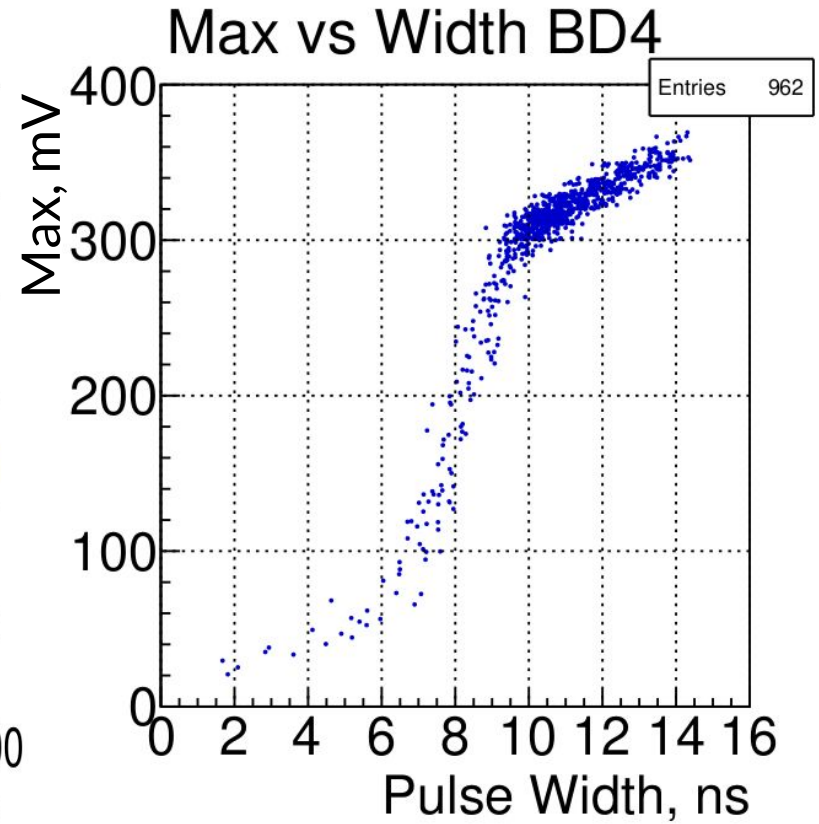
=



HV + electrónica

Rango dinámico



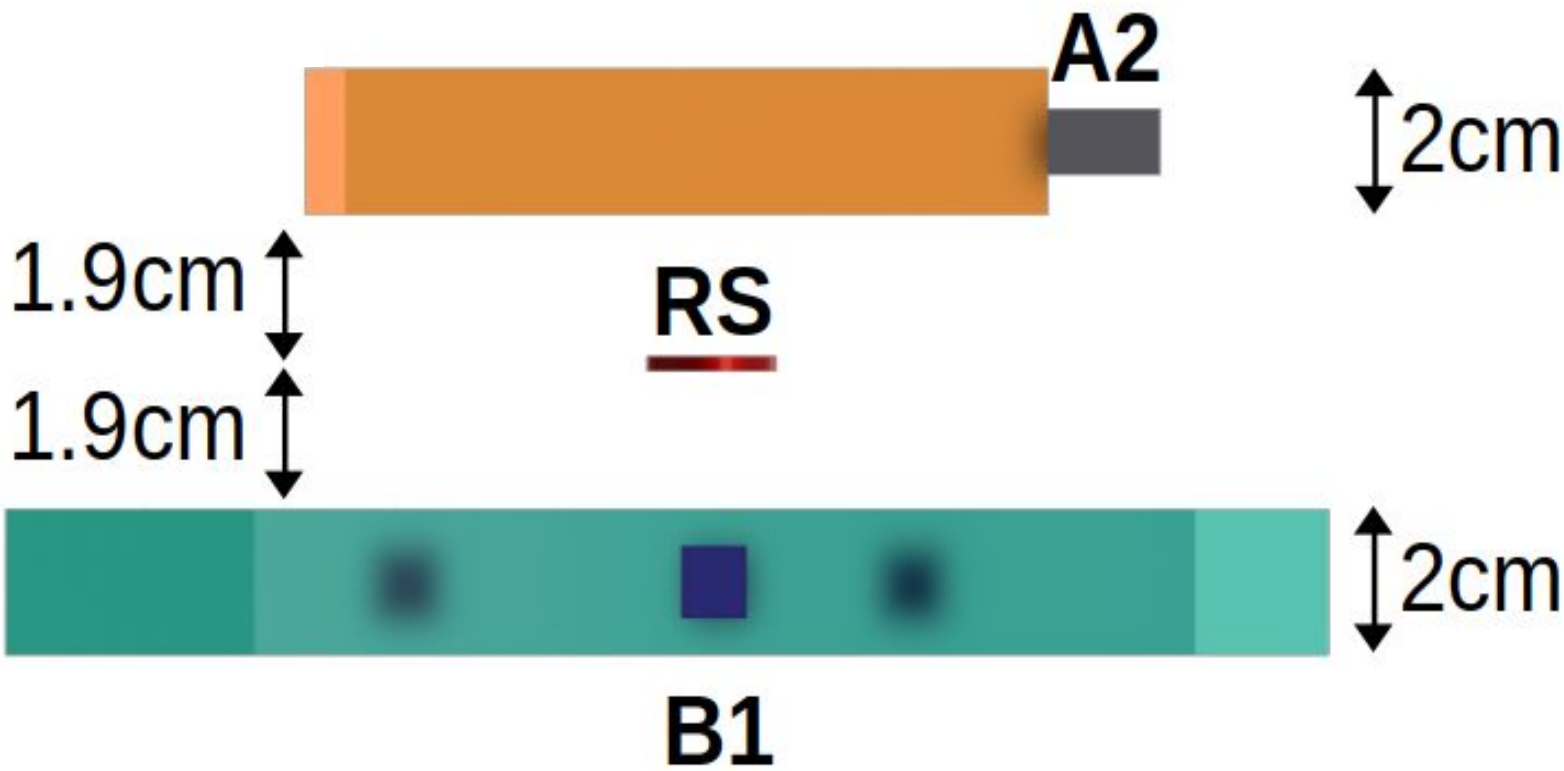


Respuesta del detector

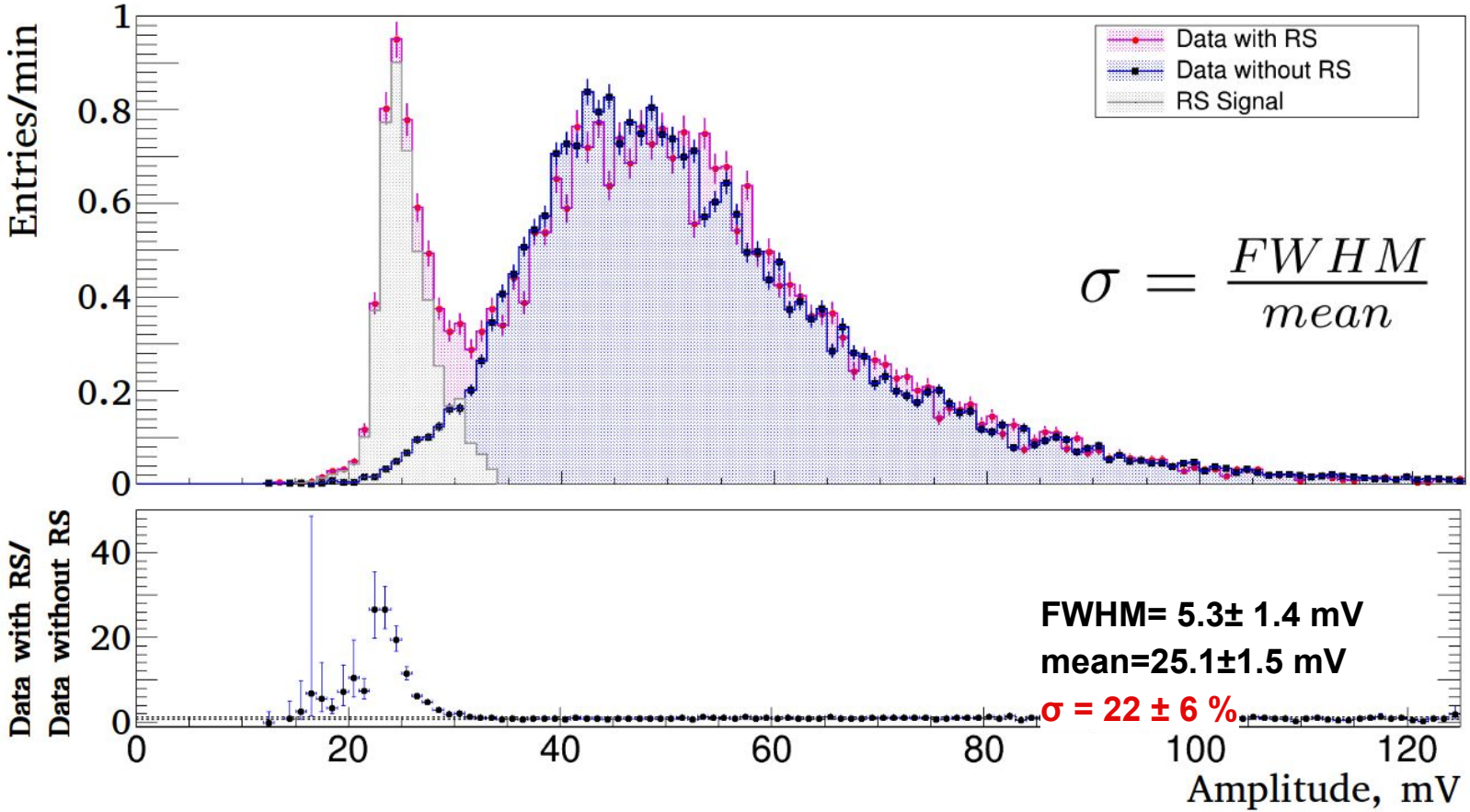
La señal de salida de (casi todos) los detectores está en forma de un **pulso de corriente**. La cantidad de **ionización** se refleja entonces en la carga eléctrica contenida en esta señal (**integral del pulso con respecto al tiempo**). La **relación** entre la **energía de la radiación** y la **carga total de la señal** se conoce como la **respuesta del detector.**

Uno quisiera que esta relación fuera lineal aunque no sea absolutamente necesaria. Para muchos detectores, la respuesta es lineal o aproximadamente sobre un cierto rango de energías.

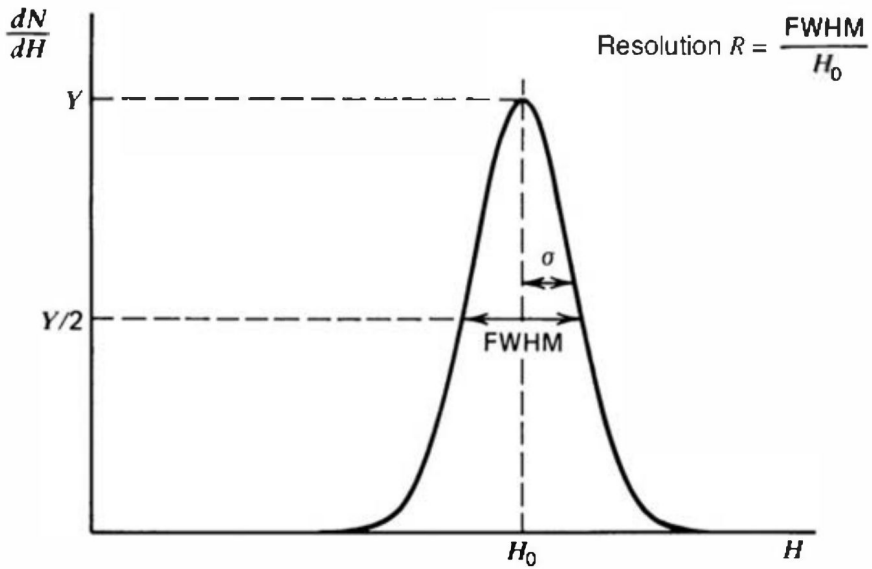
Ejemplo: Plásticos rodeando a Na22 (RS)

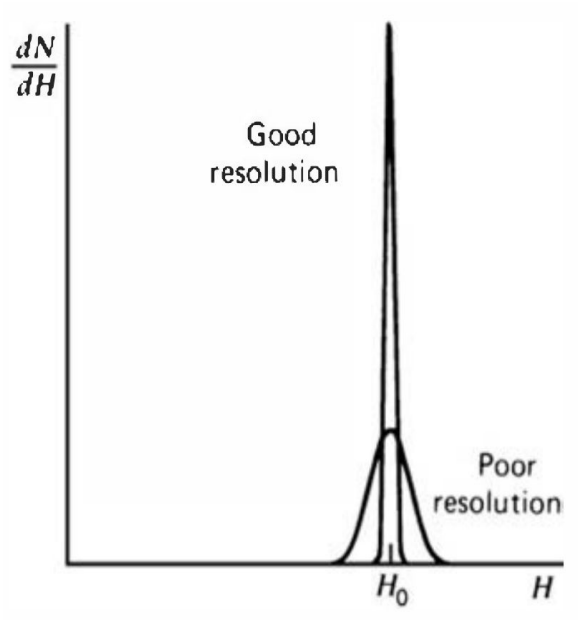


Resolución energética σ



Resolución energética





Esta anchura surge debido a las fluctuaciones en el número de ionizaciones y excitaciones producidas. Las energías que están más cerca de este intervalo generalmente se consideran irresolubles.

2. Fuentes de partículas:

a) Rayos cósmicos (secundarios)

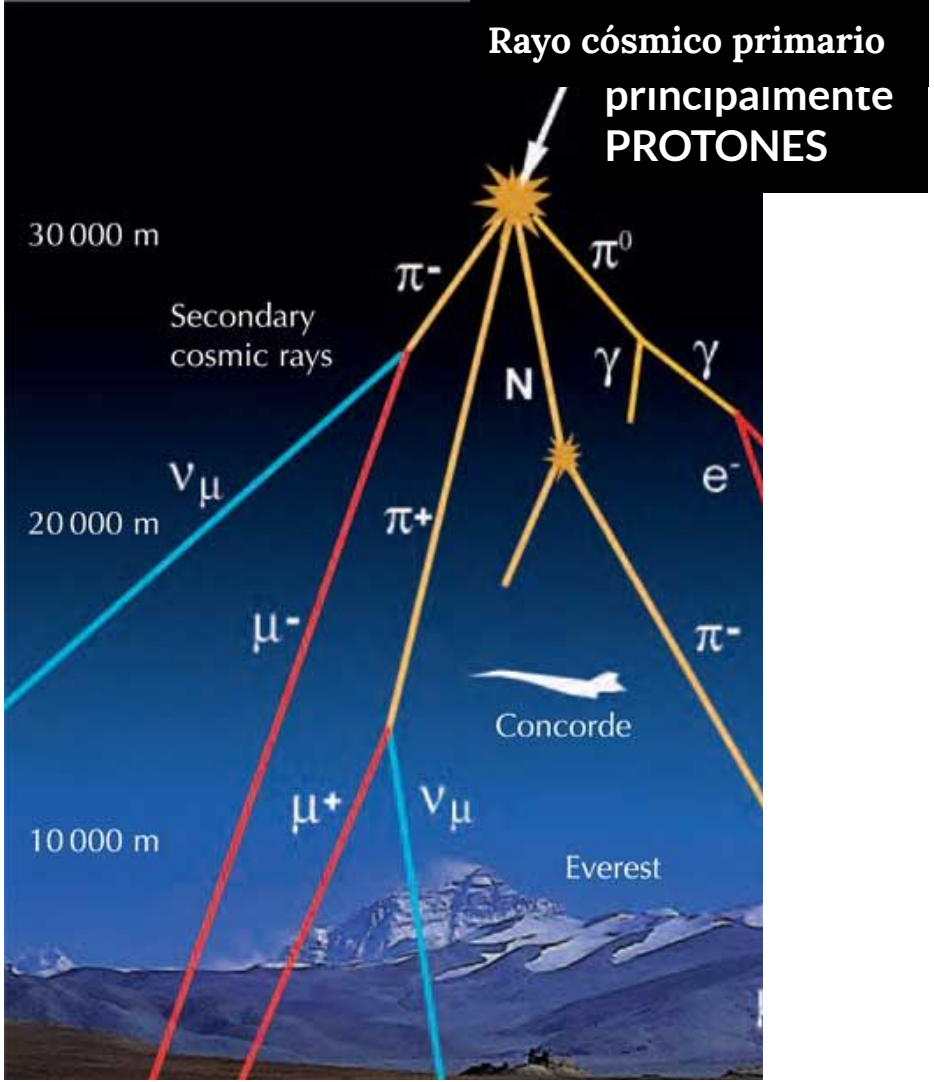
b) Mapa nuclear

c) Aceleradores (colisionadores)

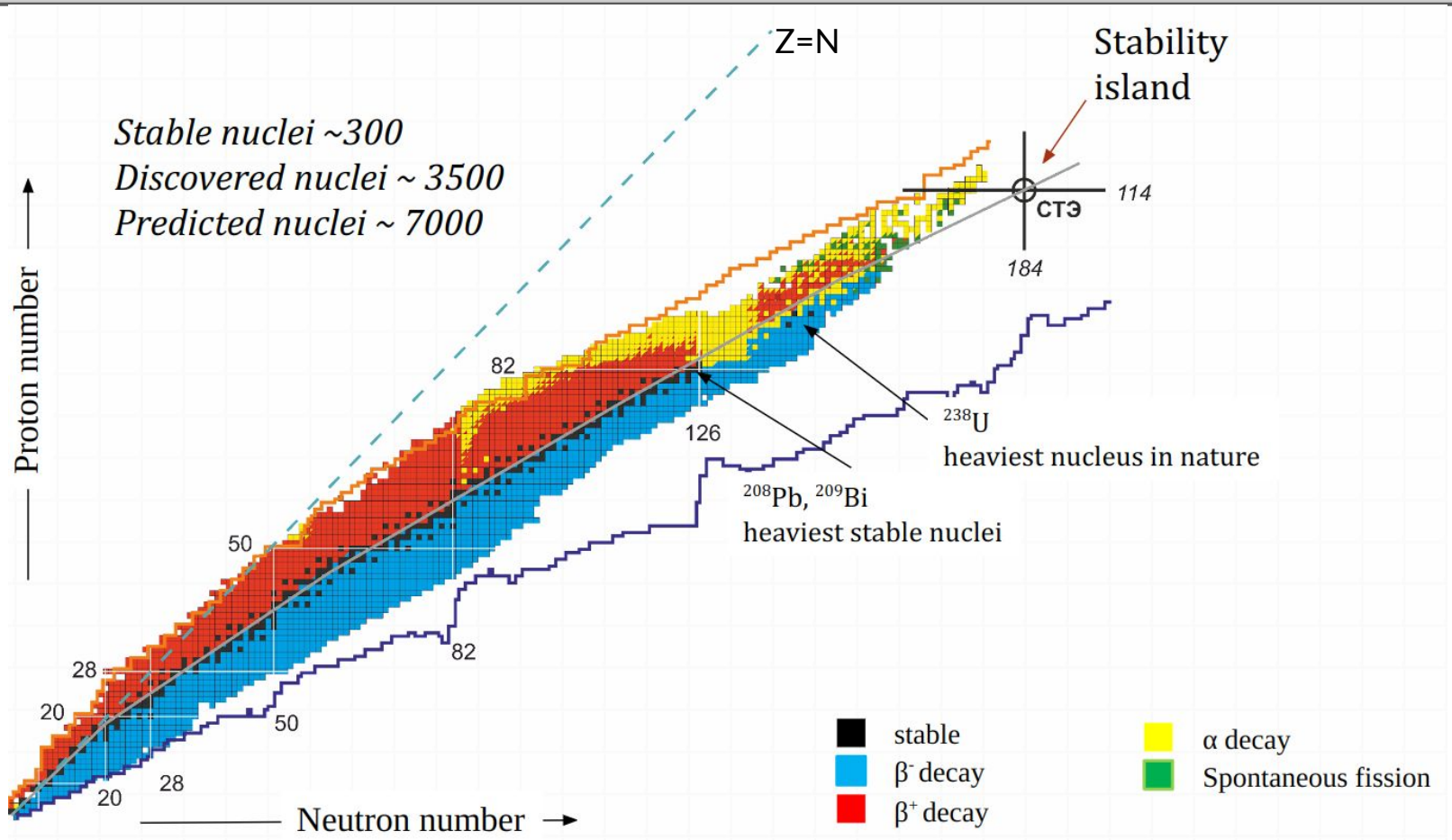
Rayos cósmicos

Los muones son las partículas <u>cargadas</u> más abundantes a nivel del mar con una energía media de 4 GeV.

En una superficie horizontal, el flujo de muones es ~ 1 cm^{-2} min^{-1}. Para una superficie vertical es aproximadamente la mitad.



Mapa nuclear



Colisionadores: 7 se encuentran actualmente en operación

LHC (Large Hadron Collider): ion, proton $\sqrt{s}$~13.6 TeV [CERN]

RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider): ion, proton, protones polarizados @ 255 Ge [Brookhaven]

Electron + positron:

DAΦNE: ($\sqrt{s}$=1 GeV) [INFN, Italia], **BEPC-II** ($\sqrt{s}$ hasta 4.6 GeV) [Beijing, China]

SuperKEKB: e^-(7 GeV) + e^+(4 GeV) [KEK, Japón]

VEPP-2000: haces simétricos de 0.1 a 1 GeV [Rusia] , **VEPP-4M**: (1 a 6 GeV) [Rusia]

2 en construcción:

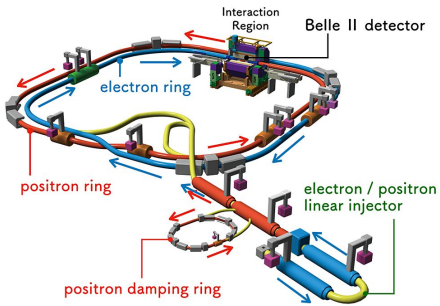
FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) (antiprotons, ion) [Alemania]

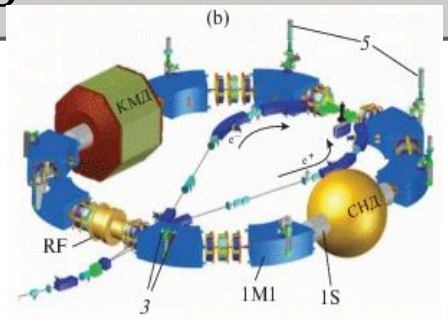
NICA (ion, proton, deuterones y protones polarizados ~27GeV) [JINR, Rusia]

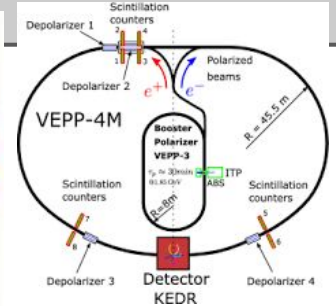
1 en fase de proyecto:

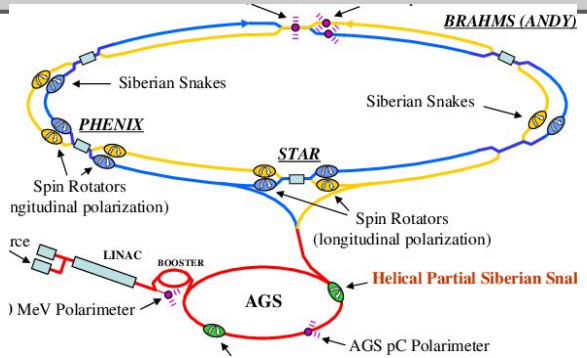
EIC (Electron-Ion Collider): electron, proton, ion [Brookhaven, USA]

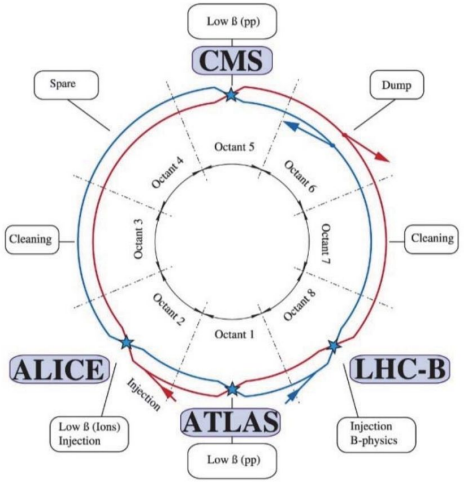
Colisionadores

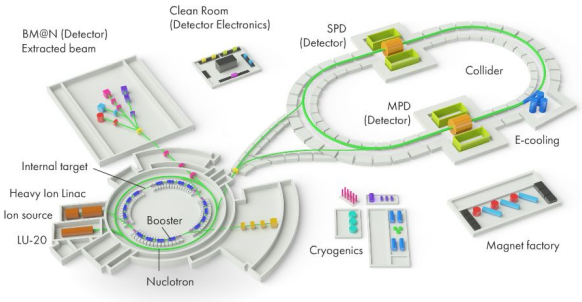


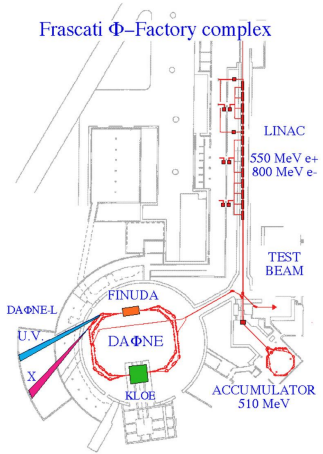


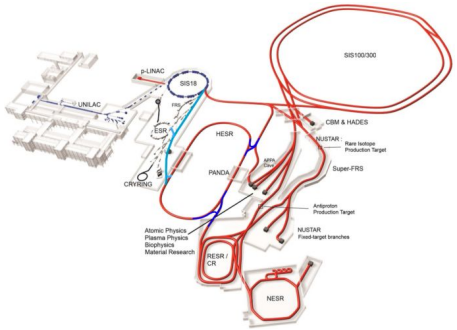
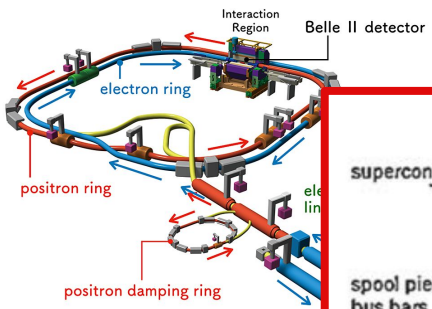
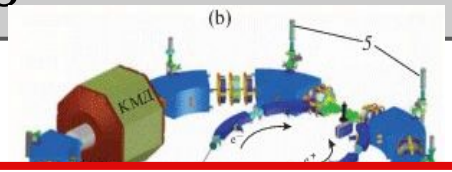
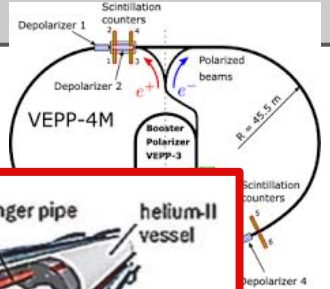
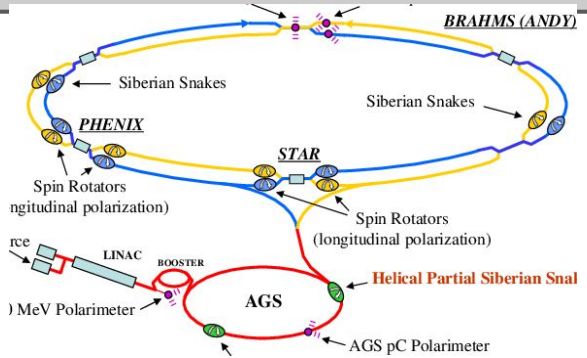
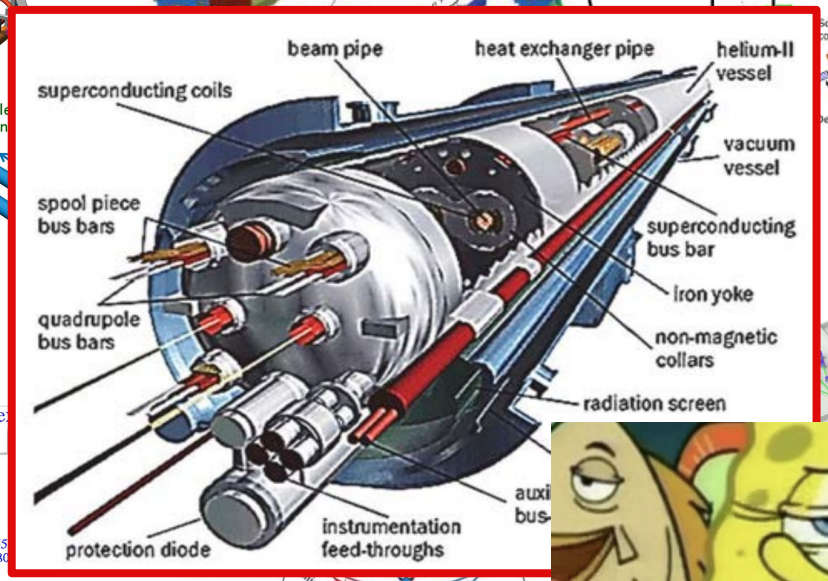
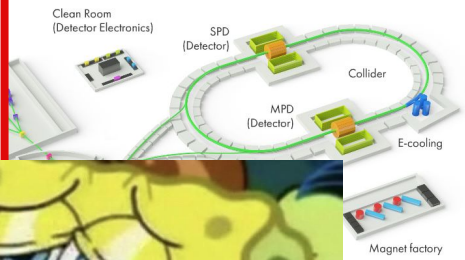
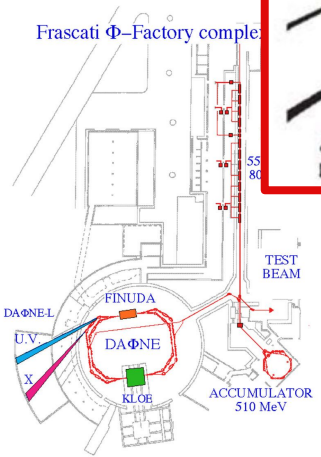
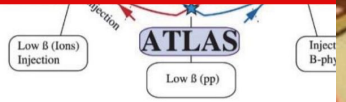
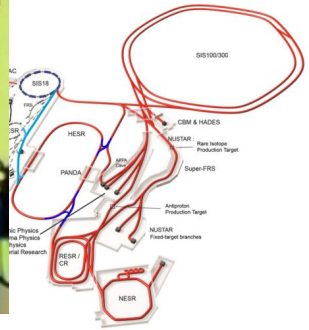












Colisionadores