Física de partículas – Física en LEP

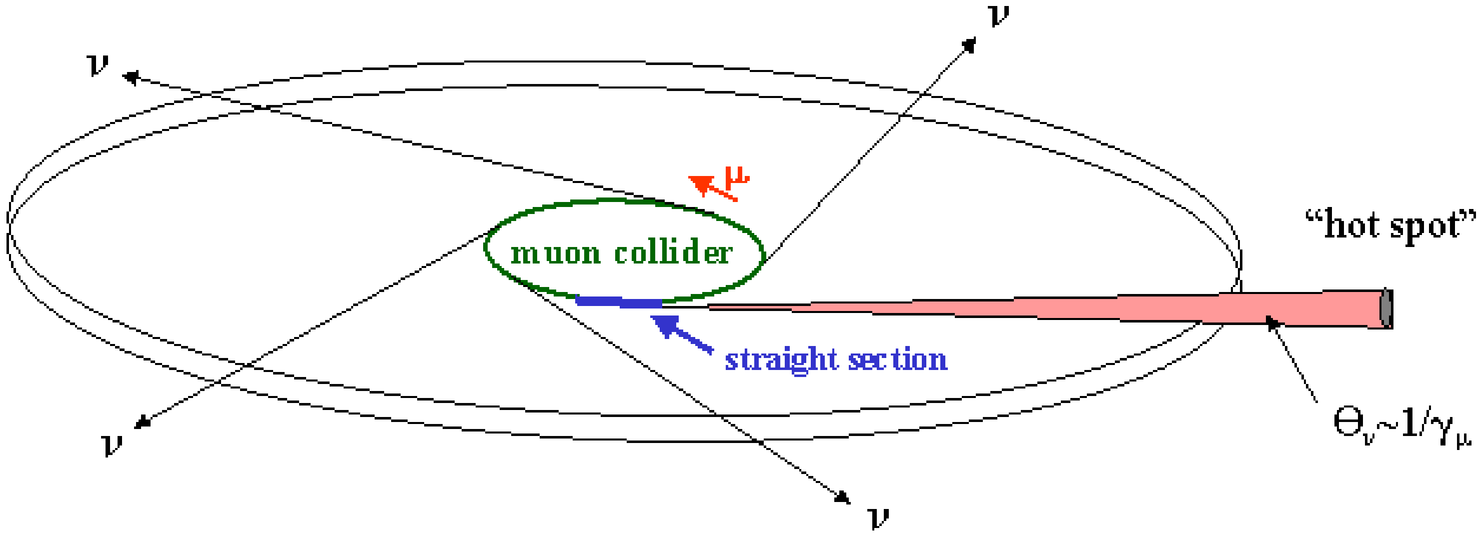
J. Alcaraz
CIEMAT Madrid

- Aceleradores
  - Generalidades.
  - Sincrotrón. Elementos típicos.
  - Cantidades importantes en un acelerador.
- Detectores
  - Qué observamos en un detector.
  - Algunos sistemas de detección.
- Análisis de datos
  - Información disponible.
  - Ejemplo simplificado de análisis.

- Estudio de interacciones a las máximas energías (mínimas distancias) de forma controlada.

- Posibles partículas "estables": e, p, N, γ, ν, π, μ, n.

- Sólo disponemos de la fuerza electromagnética para obtener altas energías:
  - Aceleración de partículas cargadas
  - Partículas neutras como subproducto de partículas cargadas: $e\gamma \to e\gamma$. $\pi^+ \to \mu^+\nu_\mu$, $\mu^- \to e^-\nu_\mu\overline{\nu}_e$



J. Alcaraz
CIEMAT Madrid

- Sincronía entre energía y campo magnético:

$$p[\mathrm{GeV}/c] = 0.3\ B[\mathrm{T}]\ R[\mathrm{m}]$$

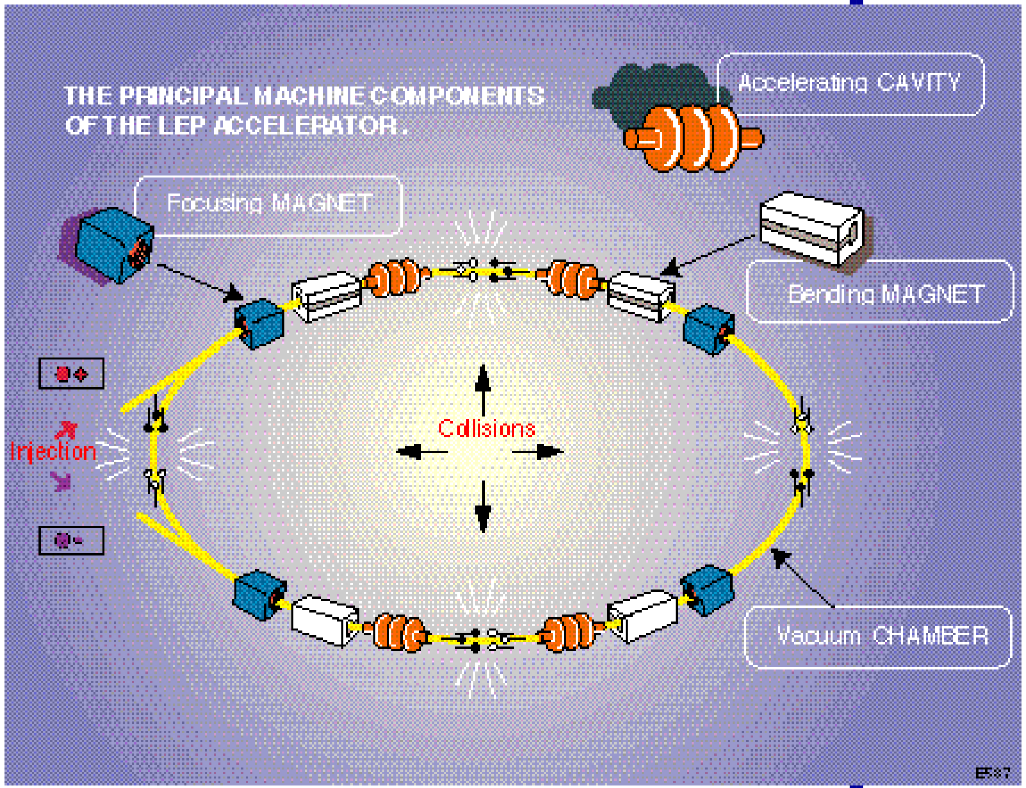
- Aceleración $\Rightarrow$
  Cavidades de Radiofrecuencia
  Oscilaciones longitudinales

- Campo magnético $\Rightarrow$
  Imanes dipolares (ΔB)
  Imanes cuadrupolares (focaliz.)
  Imanes sextupolares (correct.)
  Oscilaciones transversales

- Pérdidas de energía $\propto \frac{E^4}{m^4\ R} \Rightarrow$
  En LEP:

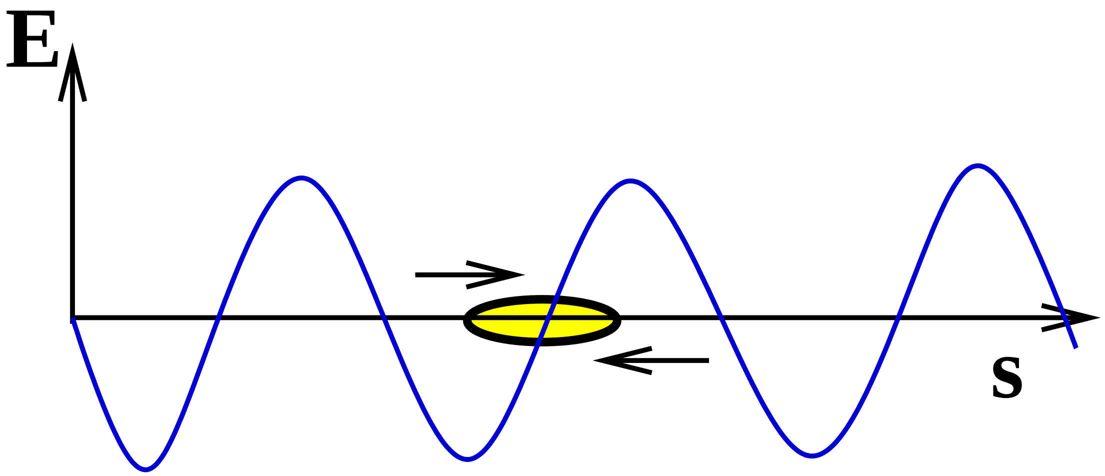
$$200\ \mathrm{MeV\ para}\ E_{\mathrm{e}} = 50\ \mathrm{GeV}$$

$$3\ \mathrm{GeV\ para}\ E_{\mathrm{e}} = 100\ \mathrm{GeV!!}$$



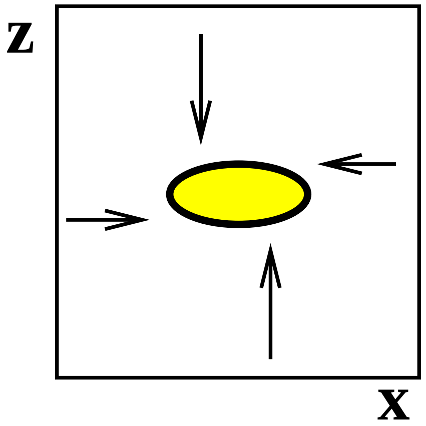
J. Alcaraz
CIEMAT Madrid

Synchrotron Oscillations

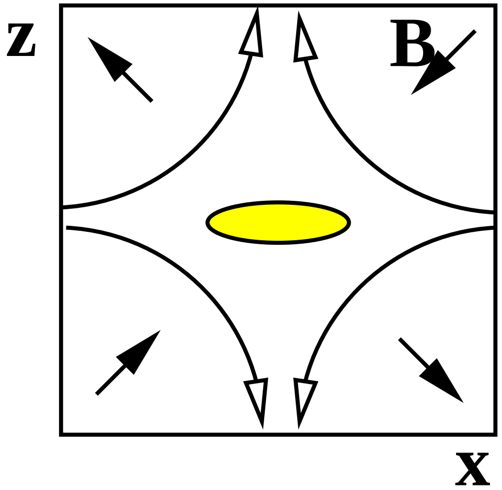


Betatron Oscillations

$B_z \sim |x|^{-n}$



Quadrupole focusing in x



J. Alcaraz
CIEMAT Madrid

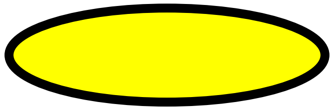
Números en LEP. Concepto de trigger

- 27 km de circunferencia, 4 cruces por vuelta $\Rightarrow$

  $22\ \mu\mathrm{s}$ entre cruces; 45000 cruces/s

- 10^{11} partículas / paquete

  Sección transversal $\approx \pi\ 1000\ \mu\mathrm{m}^2$

  Cruces por s y cm^2, o luminosidad:

  $$\mathcal{L} \sim 10^{31-32} \mathrm{cm}^{-2}\ \mathrm{s}^{-1}$$

- Número de interacciones útiles:

  $$\mathcal{N} = \mathcal{L}\ \sigma$$

- Por ejemplo, $\sigma(\mathrm{e}^+\mathrm{e}^- \to \mathrm{Z}) = 40\ \mathrm{nb} \Rightarrow 0.4 - 4$ sucesos/s

- Tiempo típico de recogida: $500\ \mu\mathrm{s}$; 2000 sucesos/s

NO PODEMOS REGISTRAR TODOS LOS CRUCES

SISTEMA DE "TRIGGER" (O DISPARO) en $22\ \mu\mathrm{s}$

J. Alcaraz
CIEMAT Madrid

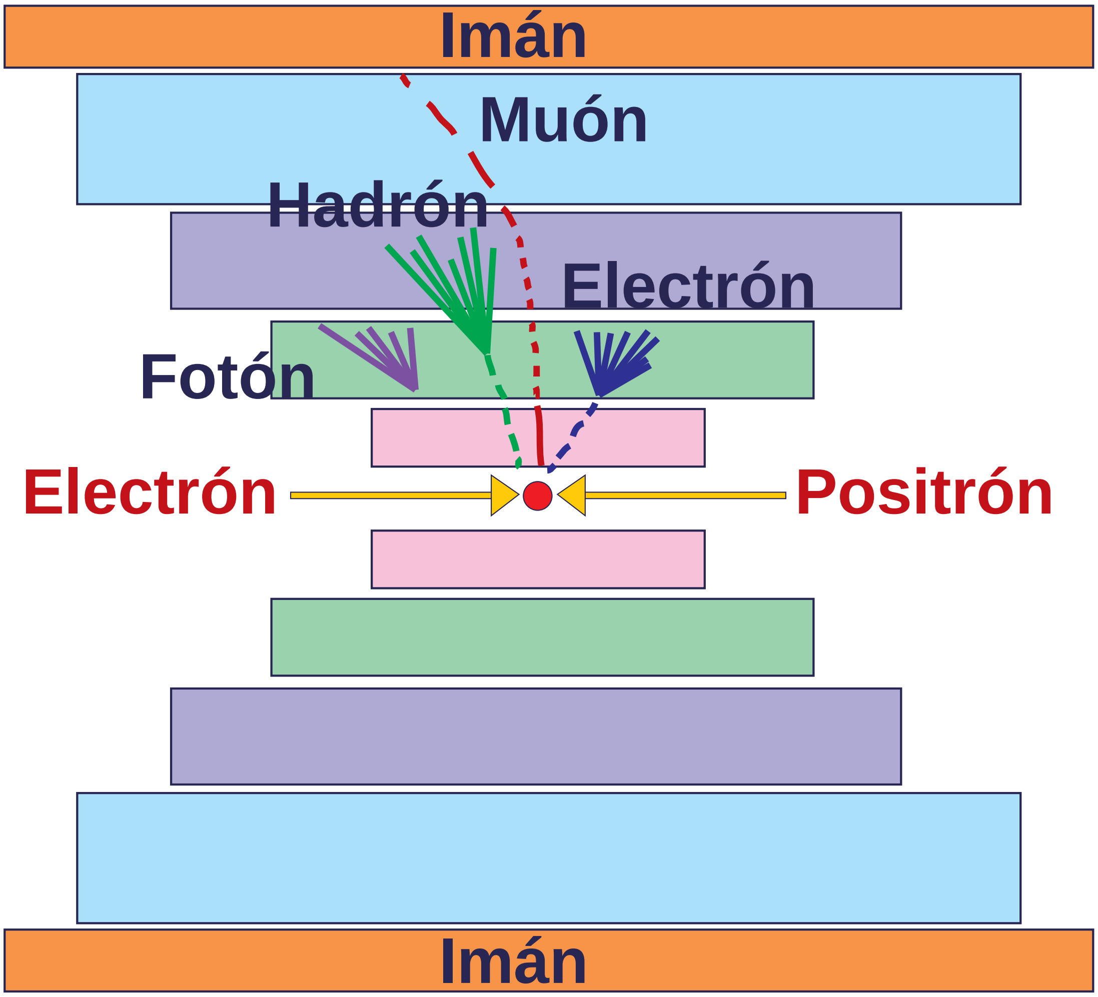
LEP Online Information

```
             111   CERN SL
LEP Run 7246   data of:23-05-00   07:59:27
     -** STABLE BEAMS **-

E = 102.700 GeV/c Beam  In Coast:  0.3 h
Beams              e+             e-
I(t)   uA      2367.0         2353.5
tau(t) h        7.65           7.28

LUMINOSITIES    L3    ALEPH    OPAL  DELPHI
L(t) cm-2*s-1   39.2   47.3    49.1    49.0
/L(t) nb-1      46.9   56.4    55.1    59.4
Bkg 1           0.72   0.94    1.34    1.41
Bkg 2           1.30   0.90    0.94    1.53

 COMMENTS  23-05-00 07:36
 COLLIMATORS AT PHYSICS SETTINGS
```

http://hpslweb.cern.ch/teletext/view111.html

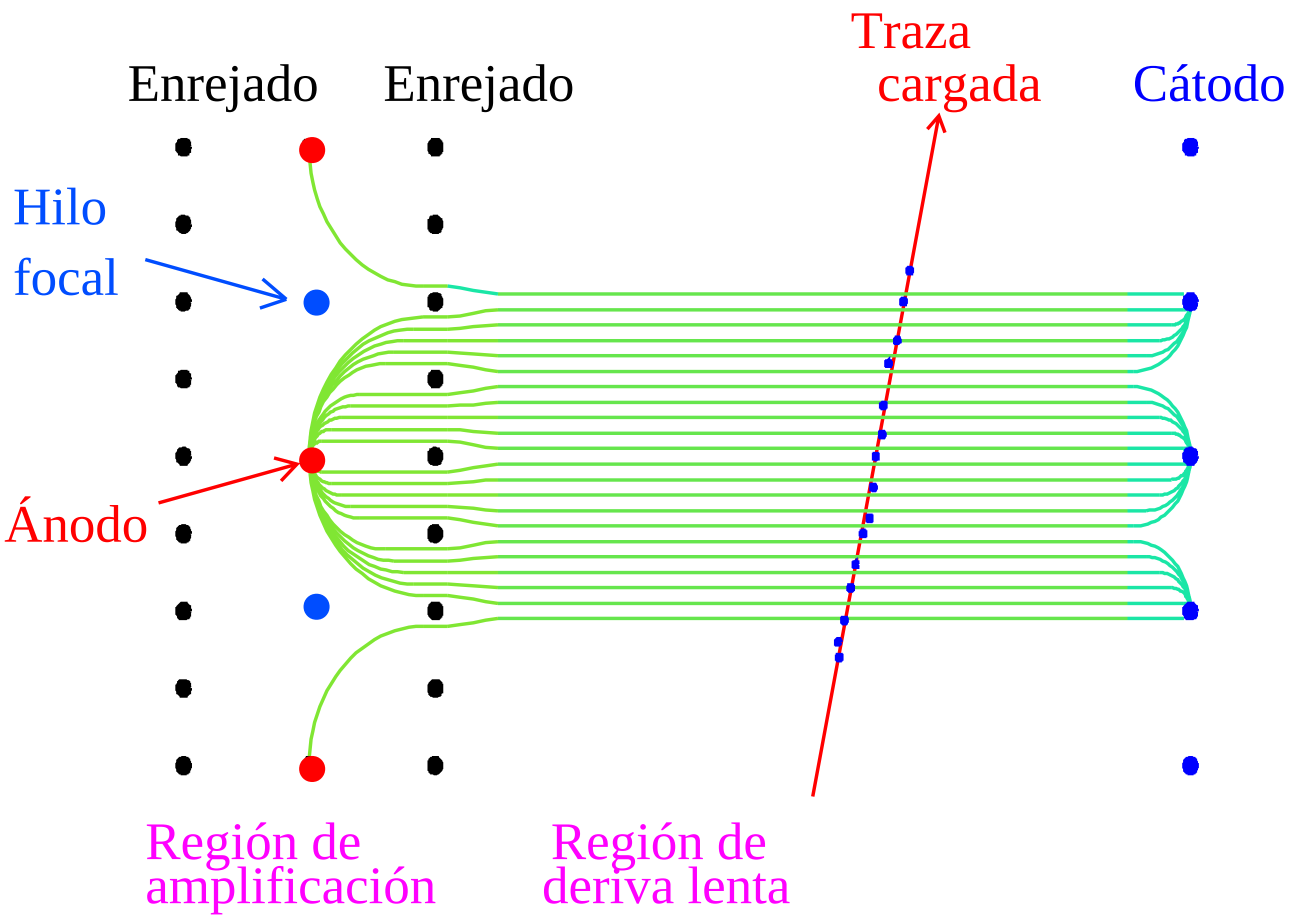
J. Alcaraz
CIEMAT Madrid

Partículas con $\mathrm{p} \gtrsim 1\ \mathrm{GeV}$ *en un detector*



- Estables: $\mathrm{e}^{\pm}, \gamma, \mathrm{p}$
- Estables en la práctica: $\mu, \pi^{\pm}, \mathrm{K}^{\pm}, \mathrm{K}^0_{\mathrm{L}}, \mathrm{n}$
- Se desintegran en $\gtrsim 1\mathrm{cm}$: $\mathrm{K}^0_{\mathrm{s}}, \Lambda$
- Se desintegran en $\sim 1\mathrm{mm}$: τ, algunos hadrones con quarks b, c

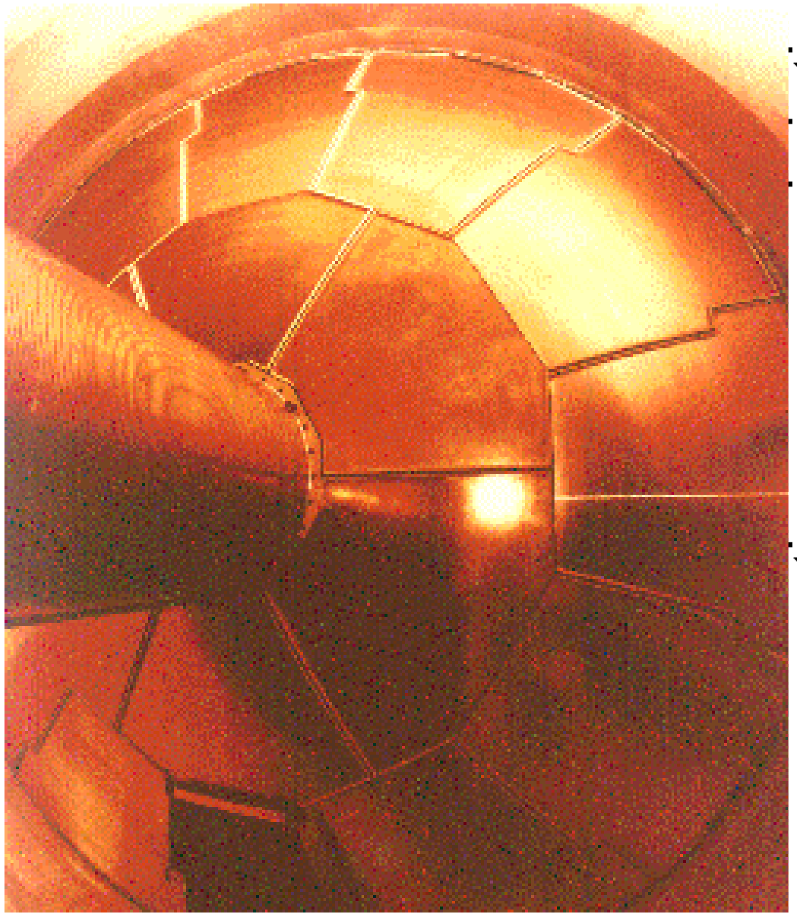
J. Alcaraz
CIEMAT Madrid

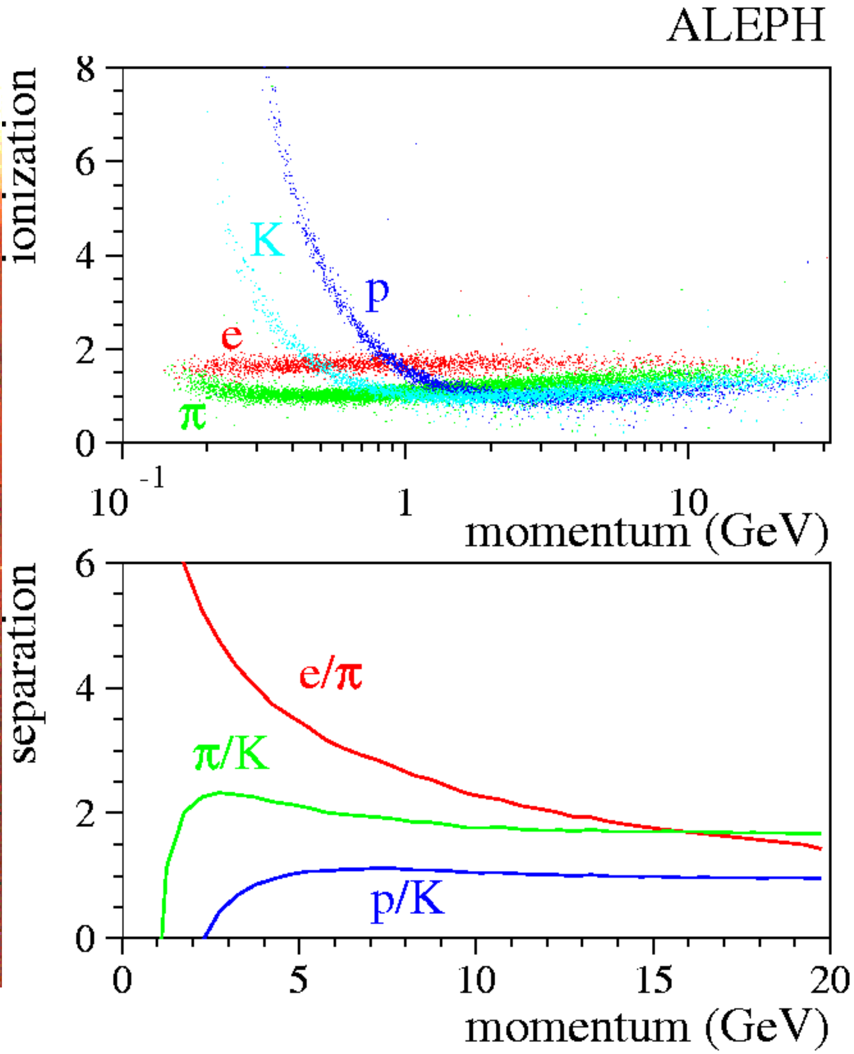


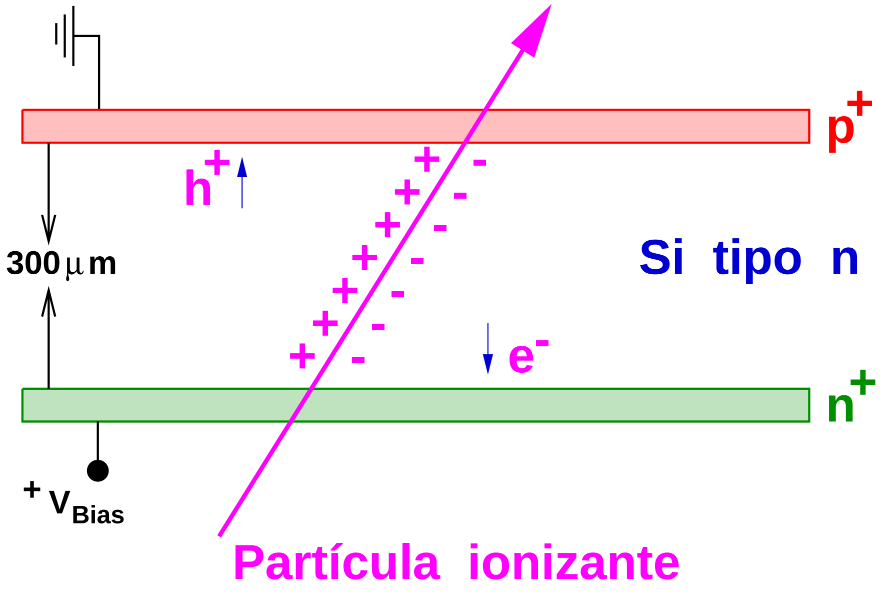
$$x = v_{\rm deriva}\ t; \qquad v_{\rm deriva} \approx 1-5\ {\rm cm}/\mu{\rm s}$$

Amplificación, discriminación → Digitalización (TDC)

J. Alcaraz
CIEMAT Madrid




ALEPH
ionization
K
p
e
π
10 -1
1
10
momentum (GeV)
separation
e/π
π/K
p/K
0
5
10
15
20
momentum (GeV)



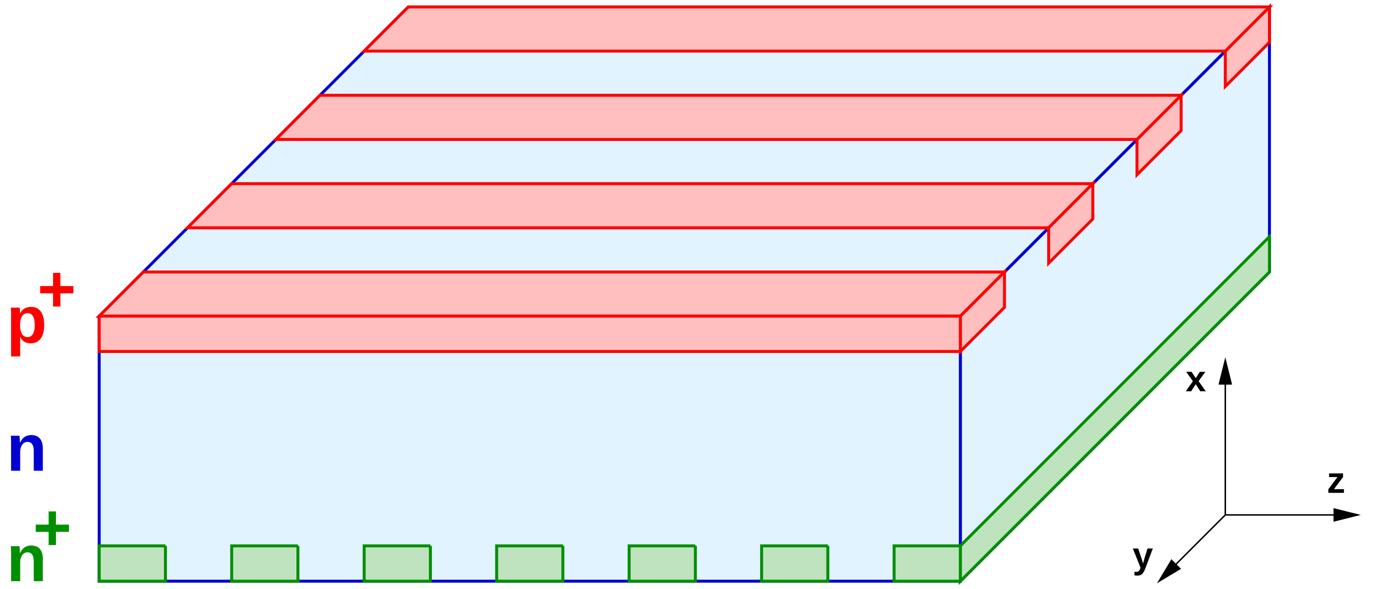
Conceptos importantes

Lectura

Digitalización (ADC)

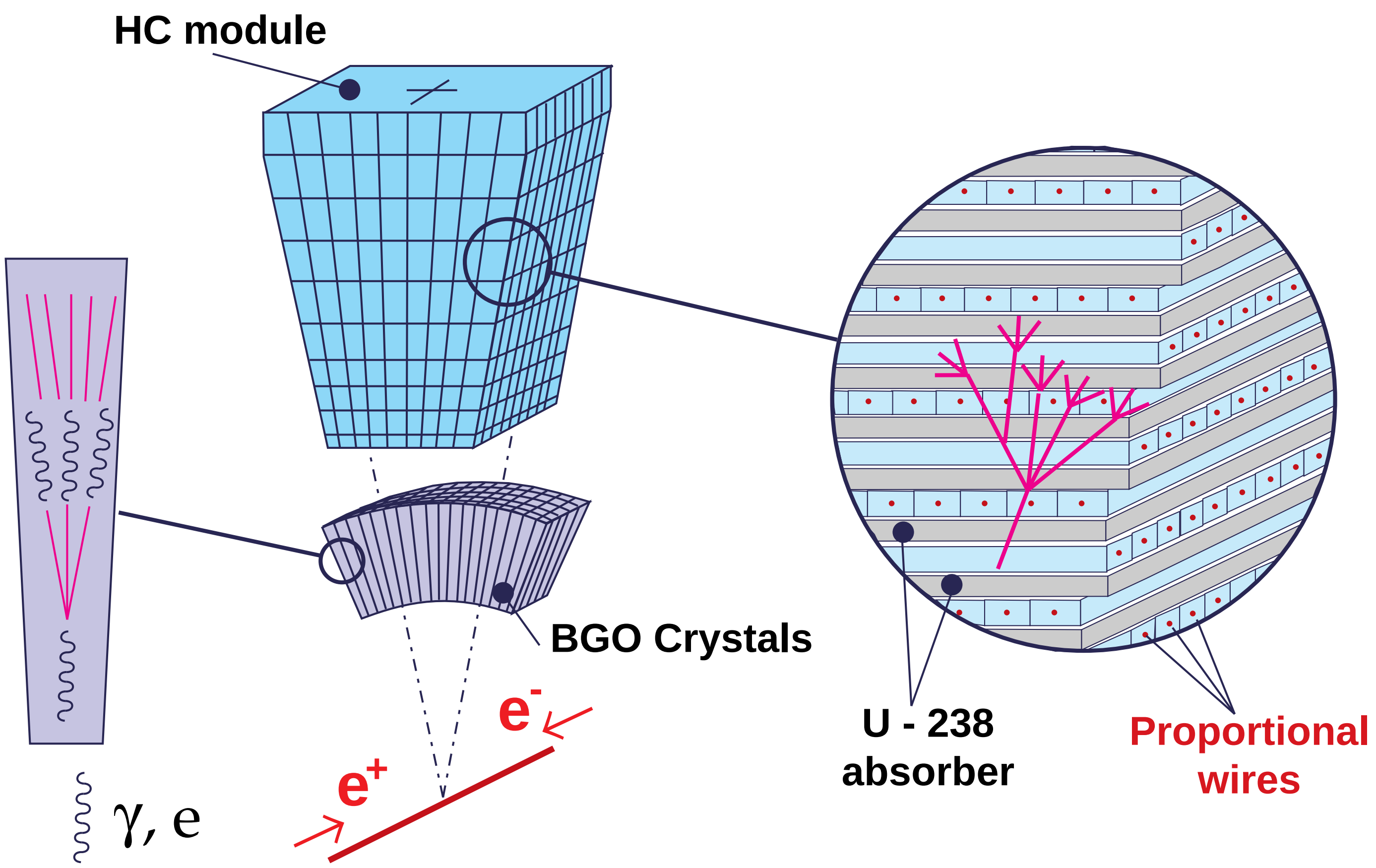
"Common noise"

"Clustering"



J. Alcaraz
CIEMAT Madrid

Energy Measurement



Magnitudes relevantes: Longitudes de radiación y absorción

J. Alcaraz
CIEMAT Madrid

- Cuentas de TDC (Time to Digital Conversion)
- Cuentas de ADC (Analog to Digital Conversion)
- Constantes de calibración: t_0, $v_{\rm deriva}$, "pedestales"

$$\Downarrow$$

Tiempos de paso y energías depositadas
Trazas y asociaciones calorimétricas

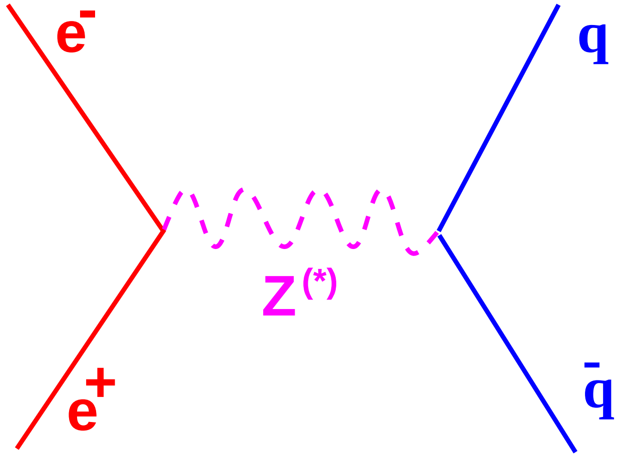
$$\Downarrow$$

- Trazas $\rightarrow$ momento (p), longitud de desintegración (L)
- Calorímetros $\rightarrow$ energía (E)
- Centelleadores $\rightarrow$ tiempo de paso de la partícula (t)
- Trazas (dE/dx) y contadores Cerenkov (luz) $\rightarrow$ ($v = p/E$).

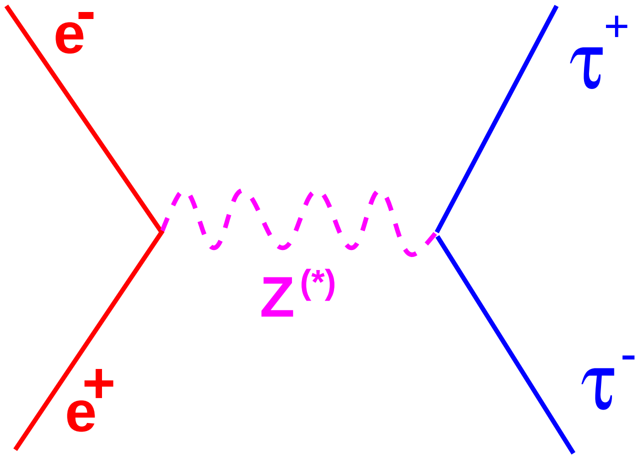
J. Alcaraz
CIEMAT Madrid

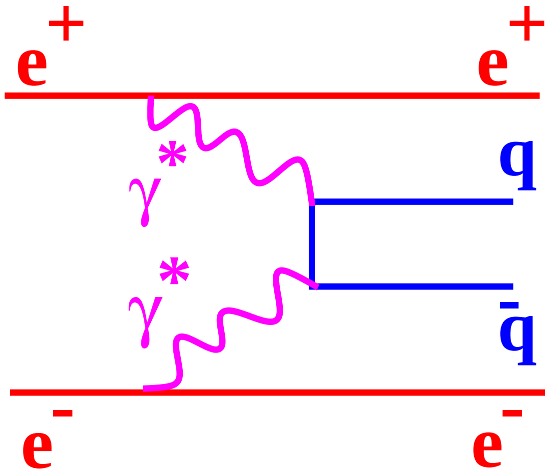
Ejemplo de análisis

1) Simulación de la señal por métodos Monte Carlo:



2) Simulación de los fondos que compiten con la señal:





J. Alcaraz
CIEMAT Madrid

3) Cortes para seleccionar la señal debido a:

- Eliminación de fondos obvios: $e^+e^- \to e^+e^-$
- Simulación imperfecta de algunas variables
- Rechazo de ruido electrónico y rayos cósmicos

4) Cortes (L3) para $e^+e^- \to q\bar{q}$:

- Muchos "clusters" en el calorímetro
- Conservación energía momento: $E_{\mathrm{vis}} \approx \sqrt{s}$, $p_{\mathrm{miss}} \approx 0$

5) Cálculo de la sección eficaz y de errores (stat.+syst.):

$$\epsilon = \left.\frac{N_{\mathrm{acc}}}{N_{\mathrm{tot}}}\right|_{\mathrm{simu}} \quad ; \quad \sigma(e^+e^- \to q\bar{q}) = \frac{N - N_{\mathrm{fondo}}}{\mathcal{L}\ \epsilon}$$