

Tema 12

Técnicas de estudio de la estructura nuclear

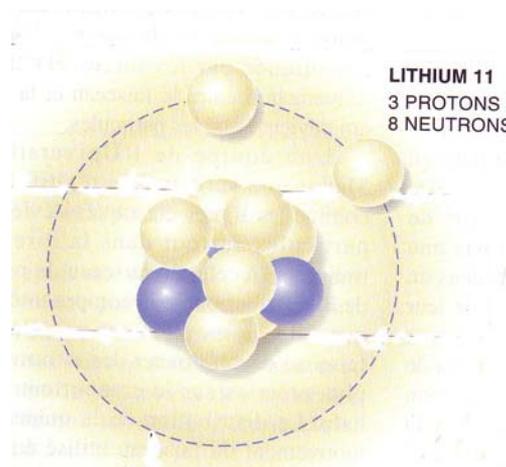
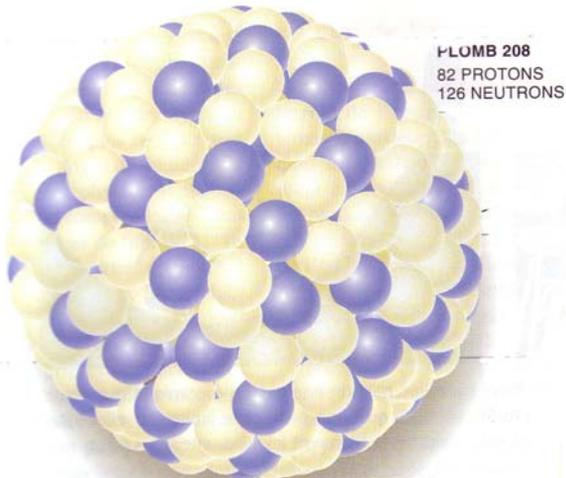
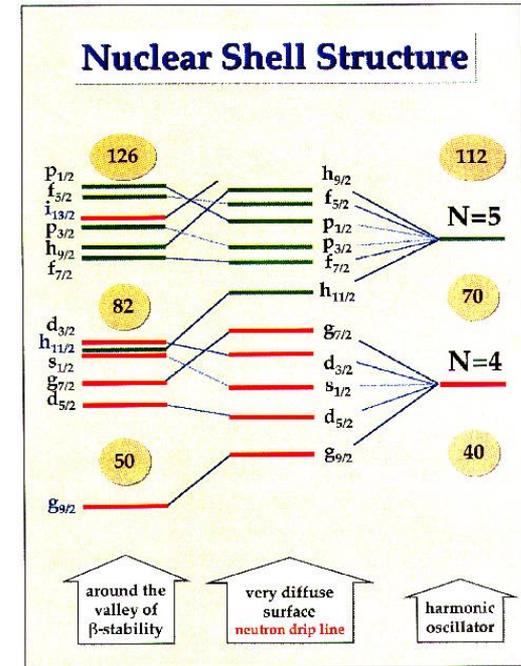
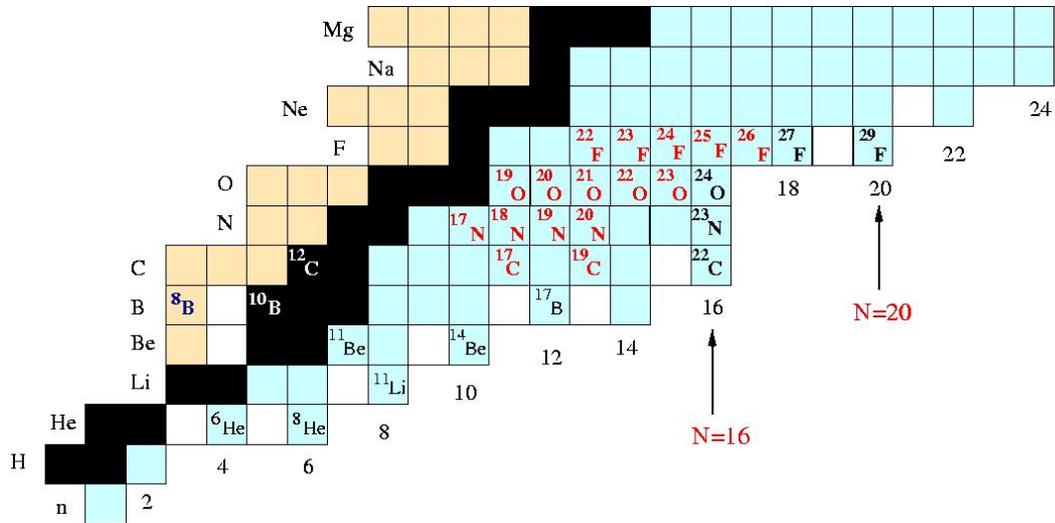
Asignatura de Física Nuclear

Curso académico 2009/2010

Universidad de Santiago de Compostela

Estructura nuclear lejos de la estabilidad

1.1 Nuevos fenómenos



- Núcleos muy poco ligados → extensión espacial
- Presentan topologías y efectos estructurales exóticos
- Accesibles experimentalmente

Estructura nuclear lejos de la estabilidad

1.2 Técnicas experimentales

- reacciones directas
 - difusión elástica
 - difusión inelástica
 - intercambio de carga
 - reacciones de ruptura
- Espectroscopía gamma
 - medidas en vuelo: reacciones de fusión/evaporación y excitación Coulombiana
 - emisión gamma retardada por estados isoméricos
 - emisión gamma retardada por la desintegración beta
- Espectroscopía de partículas cargadas
 - desintegración alpha
 - desintegración por emisión de protones

Reacciones directas

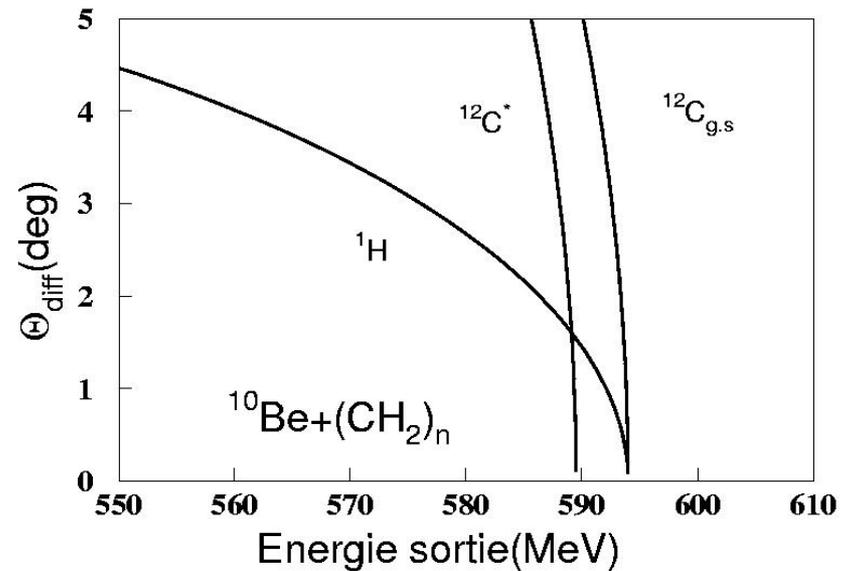
2.2 Reacciones de difusión inelástica

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |f(\theta)|^2$$

$$f(\theta) = \frac{2\pi}{\hbar q} \int_0^\infty V(r) \sin(qr) dr$$

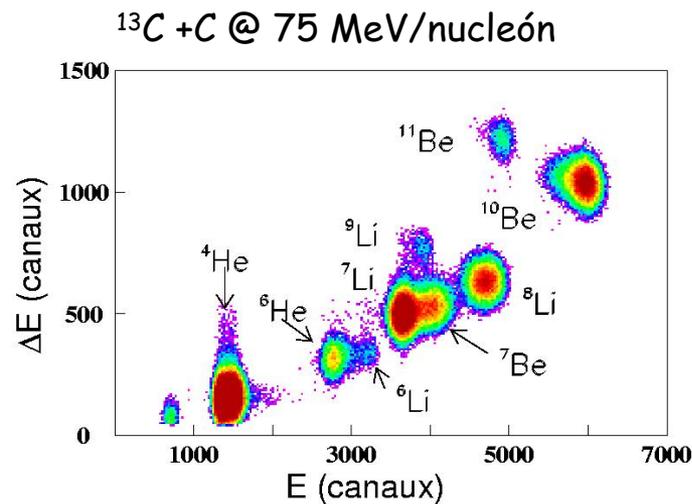
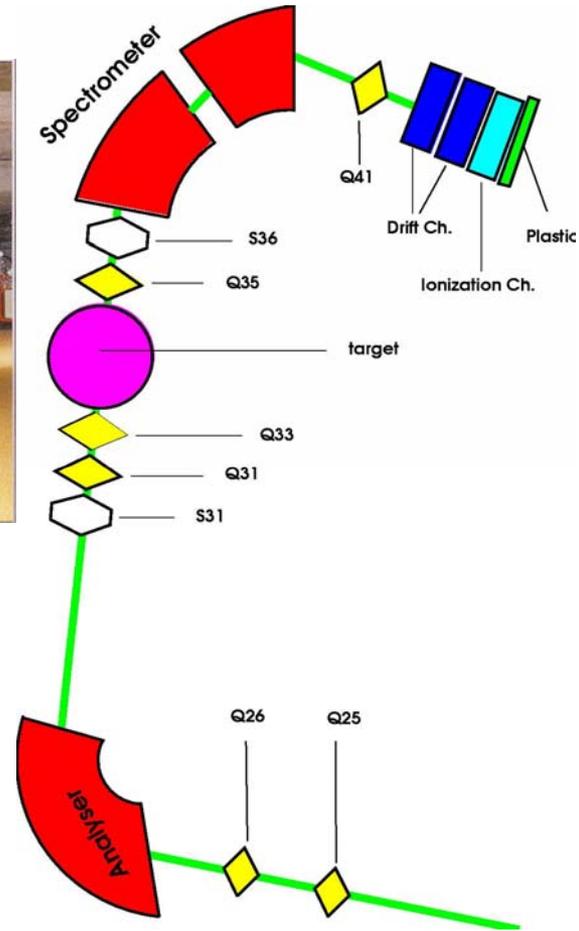
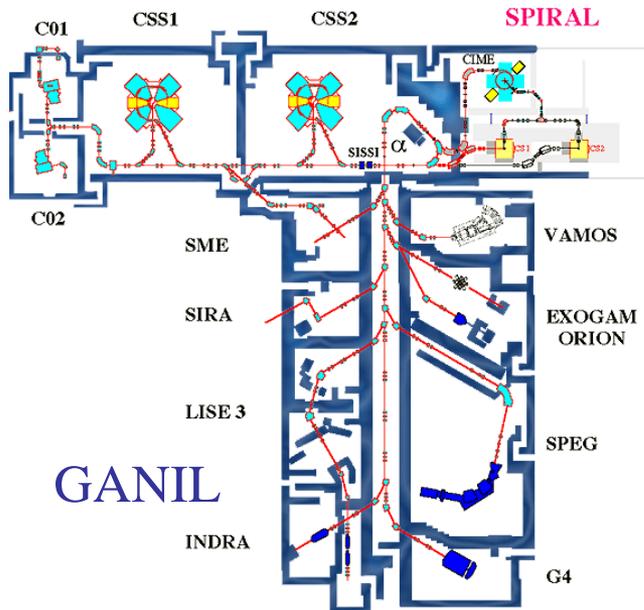
$$V(r) = \int \rho(r_b) v(r, r_b) dr_b$$

- ✓ distribución de materia
- ✓ caracterización del potencial nuclear



Reacciones directas

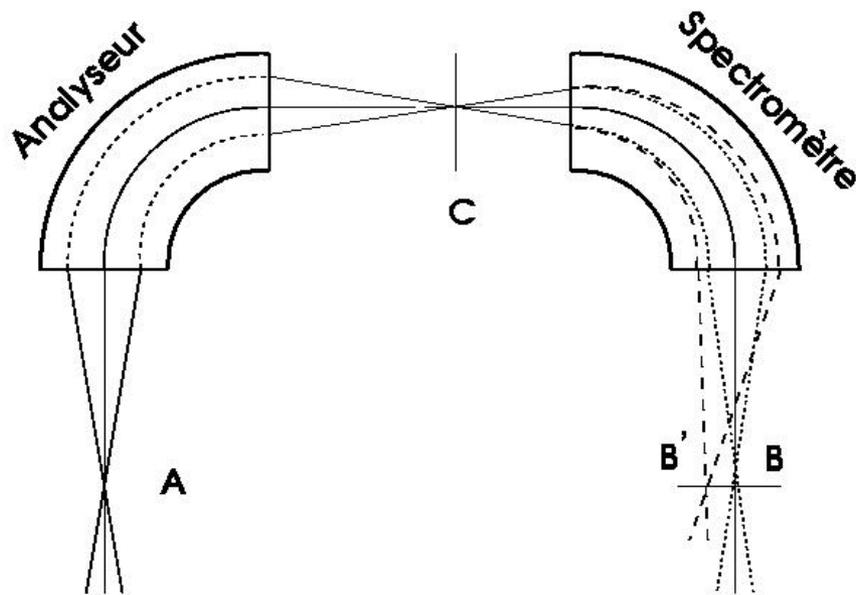
2.2 Reacciones de difusión inelástica



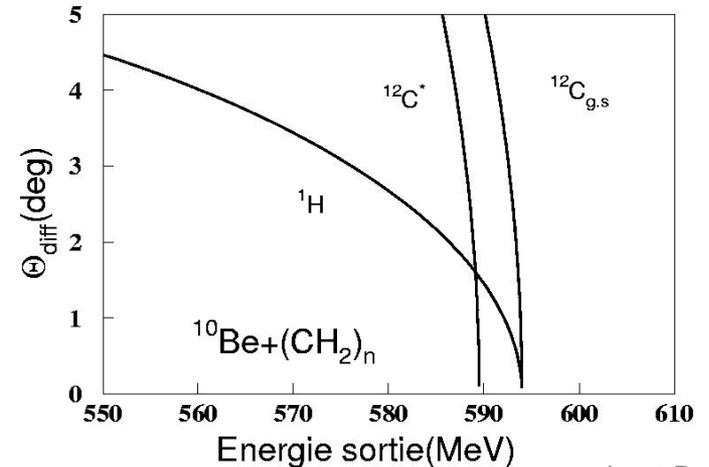
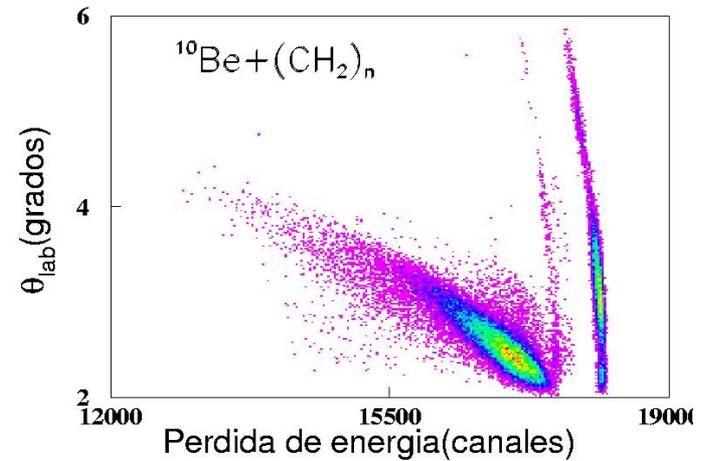
Reacciones directas

2.2 Reacciones de difusión inelástica

Espectrómetro a pérdida de energía

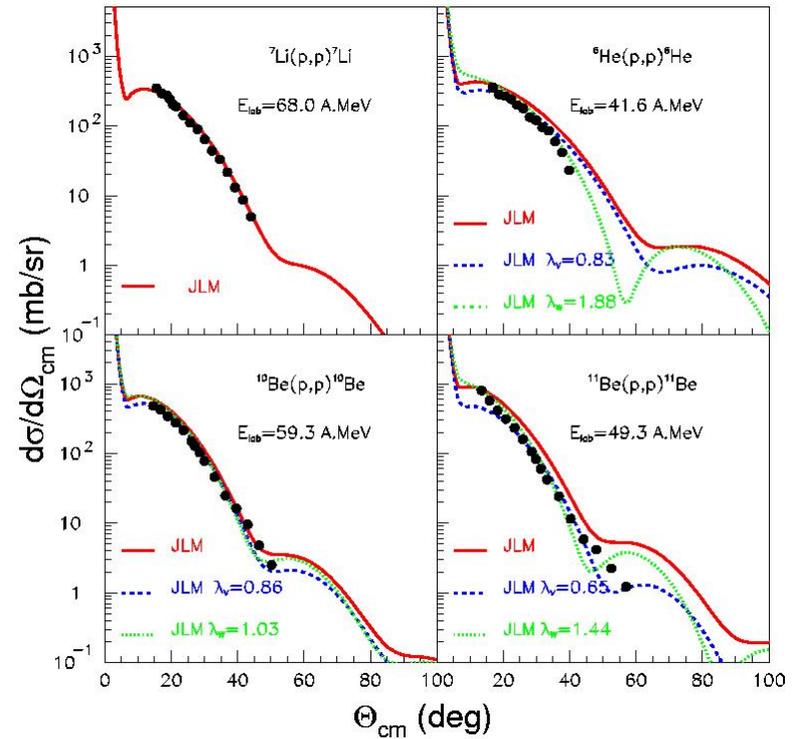
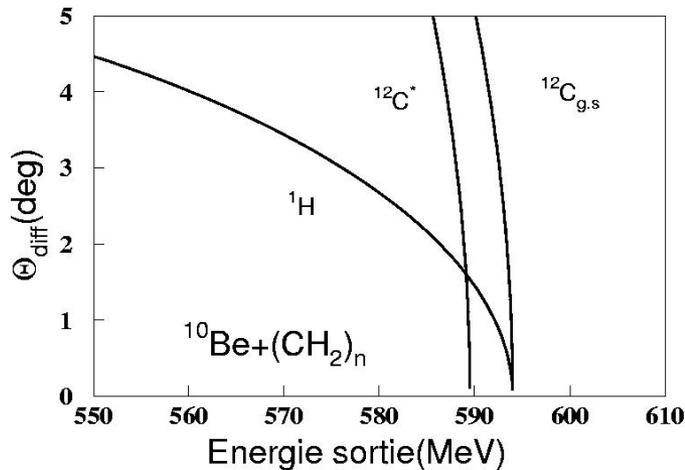
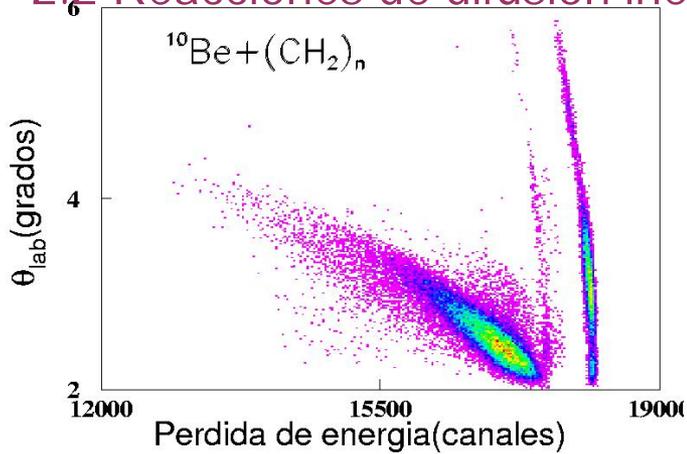


$$\frac{B\rho - B\rho_0}{B\rho_0} = \frac{p - p_0}{p_0} = \frac{x}{D} \propto \frac{E - E_0}{E_0}$$



Reacciones directas

2.2 Reacciones de difusión inelástica



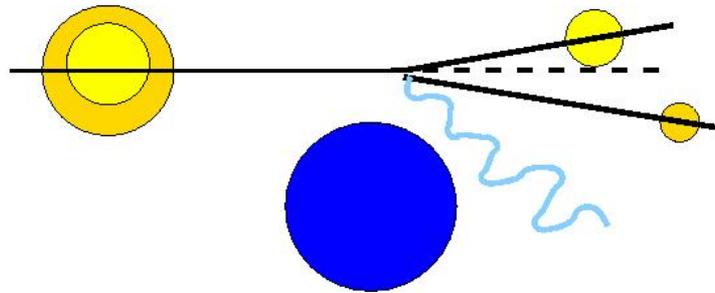
- Todos los análisis muestran que descripciones válidas para núcleos estables no son las óptimas en estos casos
- Análisis con potenciales microscópicos JLM \rightarrow necesidad de renormalización de la parte imaginaria \rightarrow "core polarization"
- Necesidad de incluir densidades que consideren la particular distribución de neutrones

Reacciones directas

2.4 Reacciones de ruptura

Ventajas experimentales

- Posibilidad de utilizar blancos espesos ($\sim g/cm^2$) \rightarrow aumento número de reacciones
- Energías relativistas y cinemática inversa \rightarrow distribución de fragmentos picada hacia los ángulos pequeños \rightarrow gran eficiencia de detección



Interpretación teórica sencilla

- $p/A \sim 1 \text{ GeV}/c \gg P_{\text{fermi}} \rightarrow$ validez de la aproximación adiabática (nucleones están congelados)
- tiempo de interacción cortos $\sim 10^{-22} \text{ s}$
- pequeña transferencia de momento \rightarrow aproximación eikonal (onda difundida \rightarrow plana)

Reacciones directas

2.4 Reacciones de ruptura

Función de onda del proyectil exótico

$$| P \rangle = \sum C S^2 (| C \rangle \otimes | n \rangle)$$

Estado fundamental
del proyectil exótico

Factor
espectroscópico

core del
proyectil

Neutrón de valencia

Sección eficaz
de la reacción

Coincidencia con rayos
gamma

Distribución de momento del
residuo

Identificación del
estado final del residuo
del proyectil

La forma de la distribución de
momento determina el momento
orbital l del neutrón de valencia

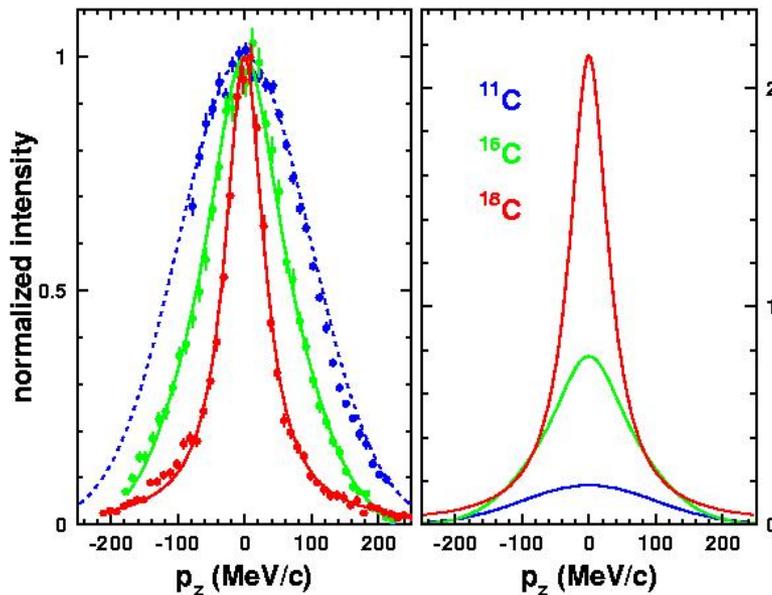
Reacciones directas

2.4 Reacciones de ruptura

El comportamiento asintótico de la f.d.o puede asociarse a este nucleón externo

$$\Psi^{inc}(r) \approx e^{-kr} \quad k = \sqrt{2\mu_n B} / \hbar$$

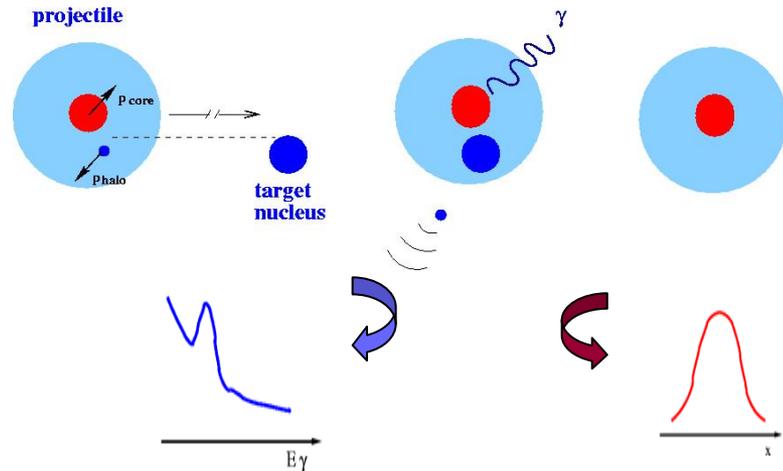
$$\Psi^{dif}(r) = \sqrt{2\pi k} \frac{e^{-kr}}{kr} \frac{e^{-kR}}{\sqrt{1+kR}}$$



$d\sigma_n/dp$ (mb/MeV/c)

La f.d.o espacial es la transformada de Fourier de la distribución de impulsión \rightarrow medida experimental muy precisa

$^{40}\text{Ar} + \text{Be} @ 1 \text{ GeV/nucleón}$



γ de la desexcitación del fragmento \rightarrow selectividad en excitaciones del fragmento

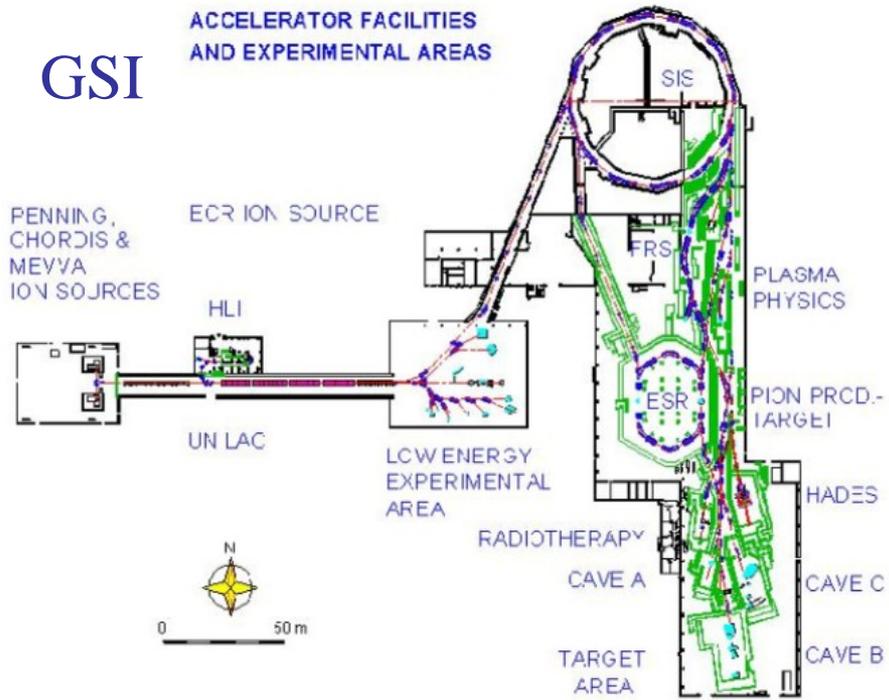
distribución de impulsión del fragmento \rightarrow relacionado a la f.d.o del proyectil \rightarrow selectividad en l

$$|F(p)|^2 = \hbar k \frac{1}{\pi^2 (k^2 \hbar^2 + p^2)}$$

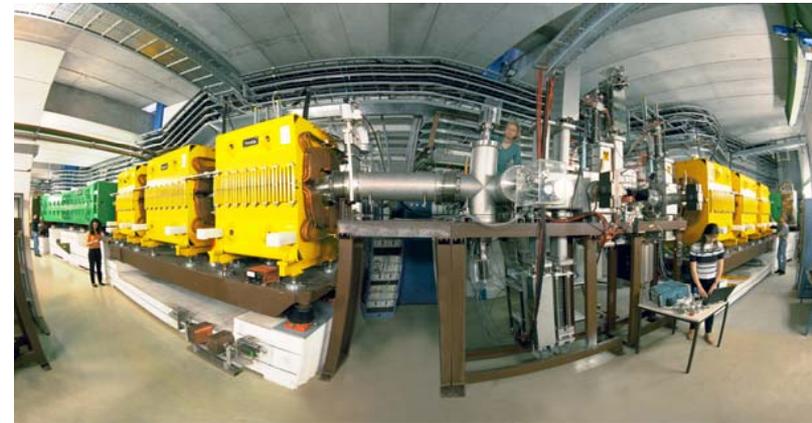
$$\Delta p \cdot \Delta x \leq \hbar$$

Reacciones directas

2.4 Reacciones de ruptura



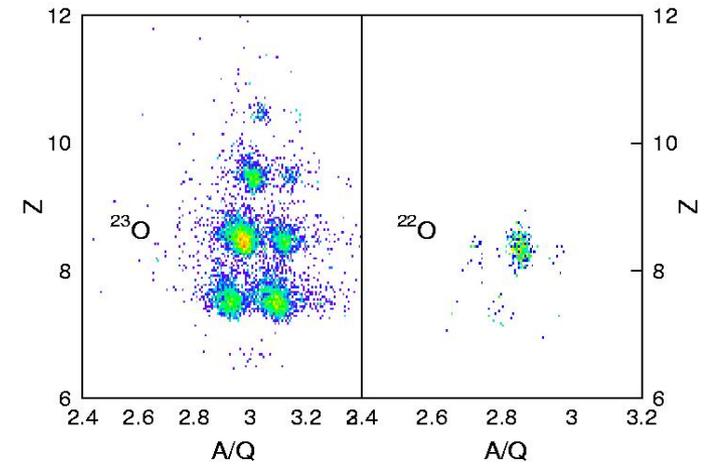
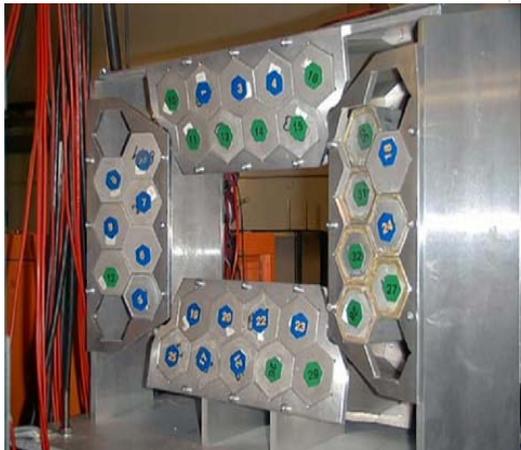
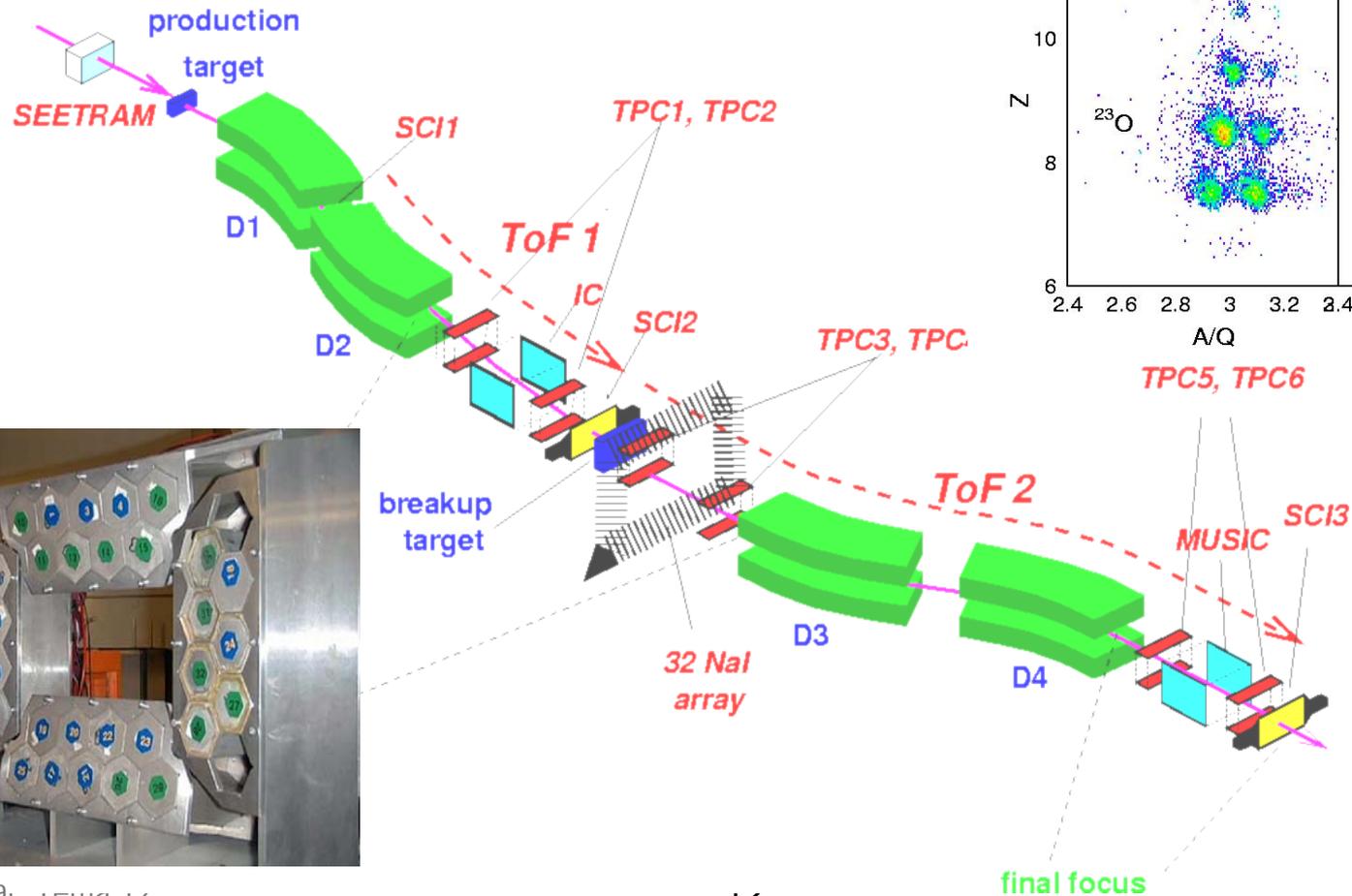
Fragment Separator



Reacciones directas

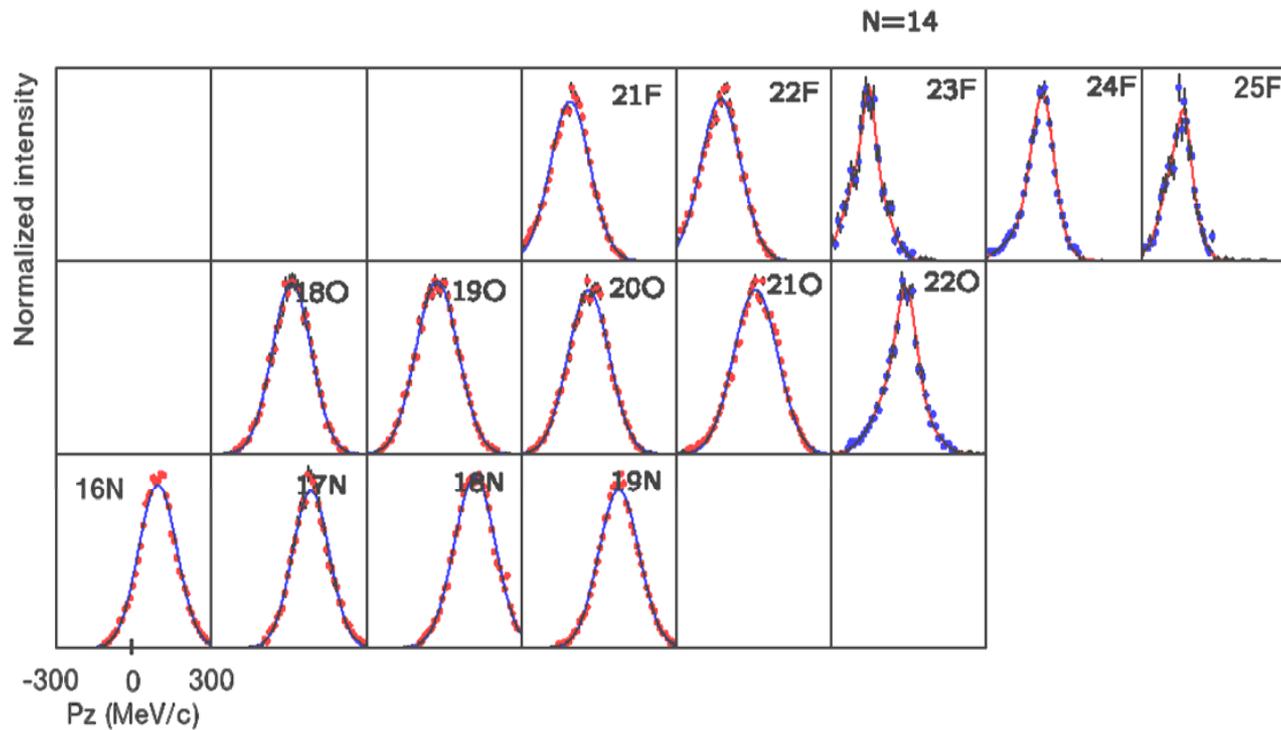
2.4 Reacciones de ruptura

Medidas en coincidencia con gammas



Reacciones directas

2.4 Reacciones de ruptura

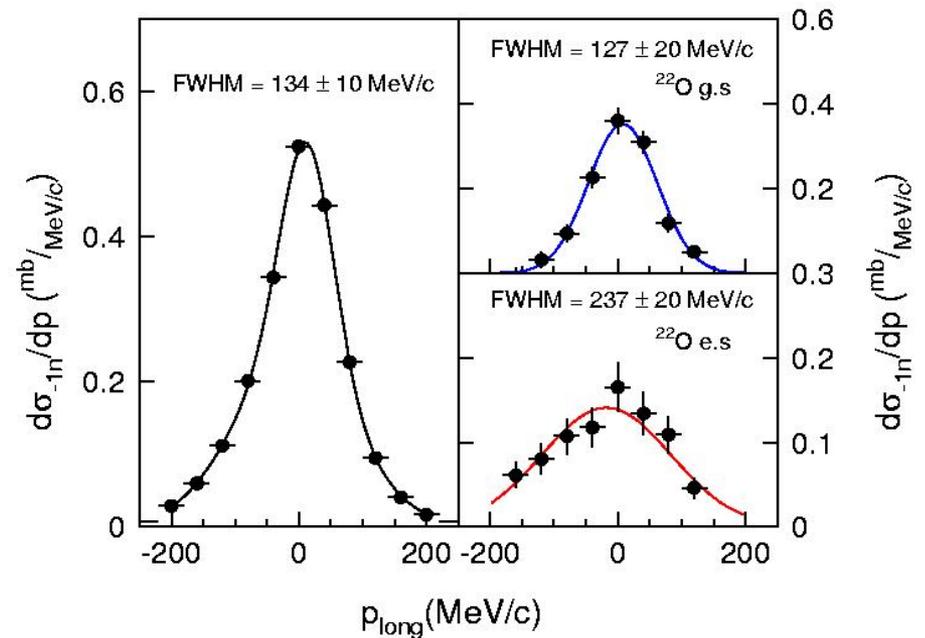
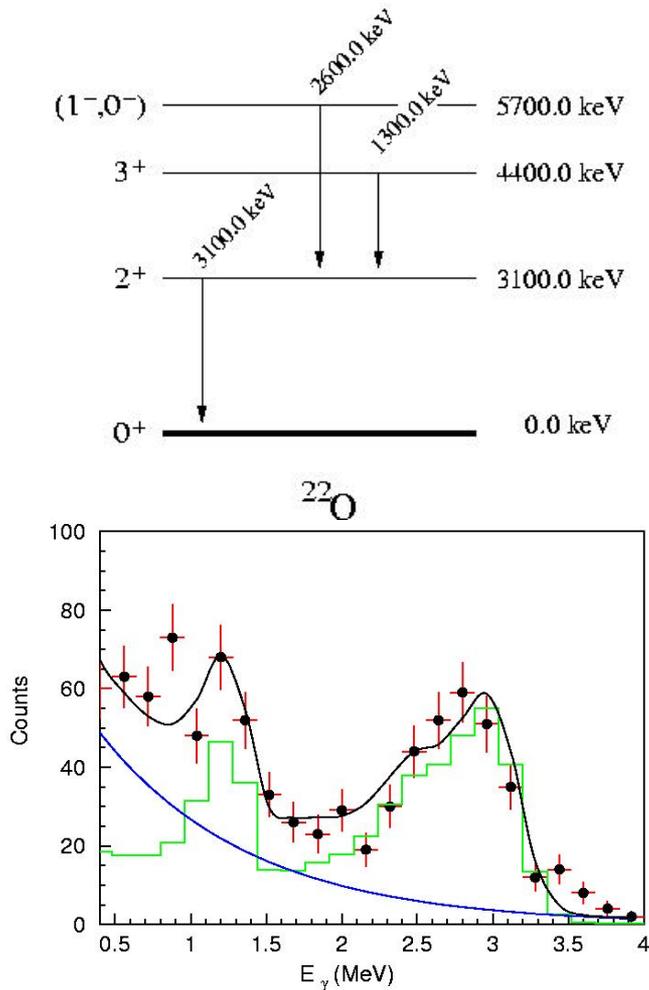


Reacciones directas

2.4 Reacciones de ruptura

Estudio de la estructura del ^{23}O

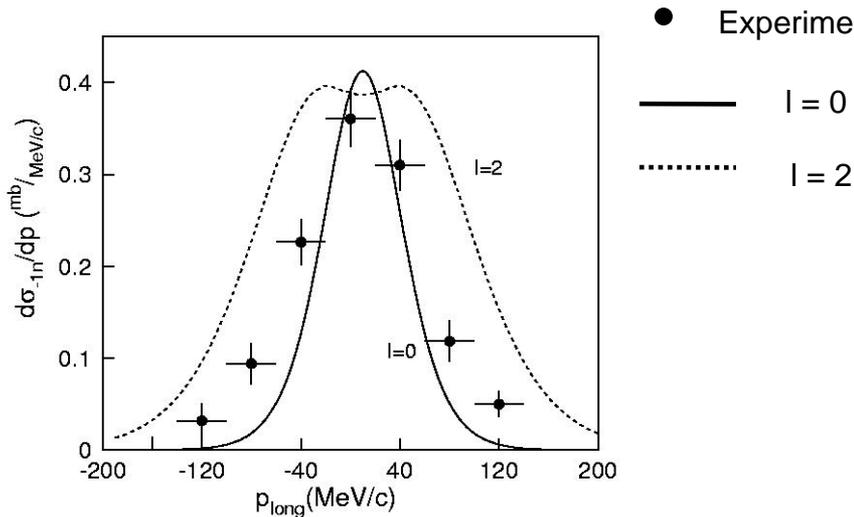
Información sobre la desexcitación del core (^{22}O)



-
- GEANT simulation
- background
- = — + —

Reacciones directas

2.4 Reacciones de ruptura



A partir de la comparación se puede asignar $J^\pi = 1/2^+$ al estado fundamental del ^{23}O

$$|1/2^+\rangle = a|0^+ \otimes 2s_{1/2}\rangle + b|2^+ \otimes 1d_{5/2}\rangle$$

El experimento demuestra que el estado fundamental del ^{23}O es $J^\pi = 1/2^+$ con una contribución muy importante de una configuración $|0^+ \otimes 2s_{1/2}\rangle$

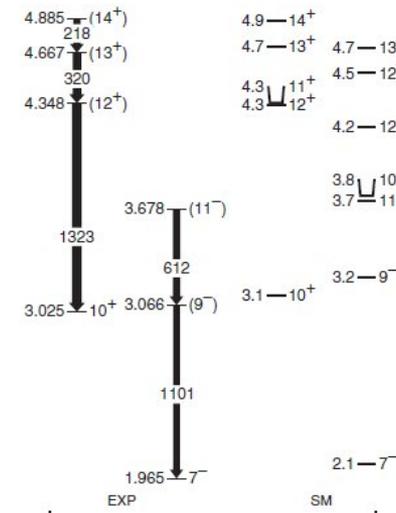
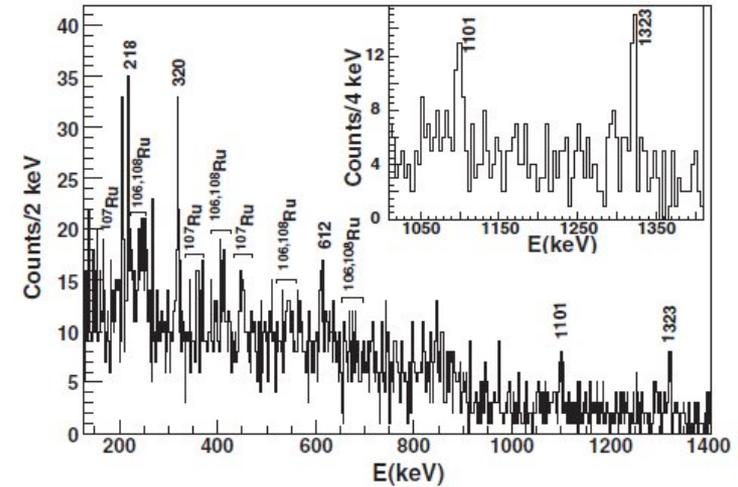
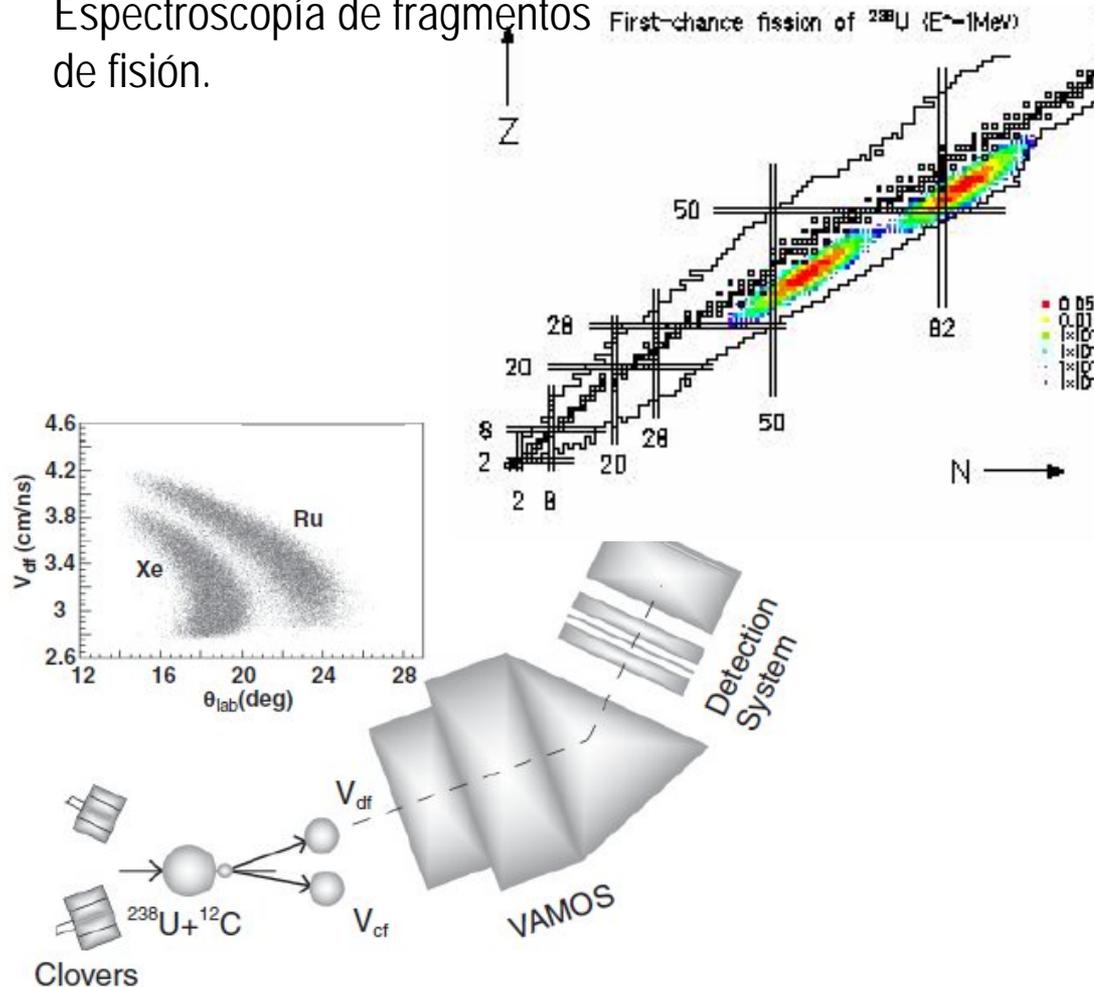
Este resultado demuestra la existencia de una subcapa en $N=14$ para $Z=8$

σ_{theo} (mb)	σ_{exp} (mb)	CS_{exp}^2	CS_{t}^2
0^+ 51	50+-10	0.97+- 0.19	0.8
2^+ 20	10.5+- 4.5	0.52+-0.21	2.13
3^+ 18	14+-5	0.77+-0.27	3.08
$(1^-, 0^-)$ 15	10.5+-4.5	0.7+-0.28	0.85
104.	85+-10		

Espectroscopía gamma

3.1 Medidas en vuelo

Espectroscopía de fragmentos de fisión.

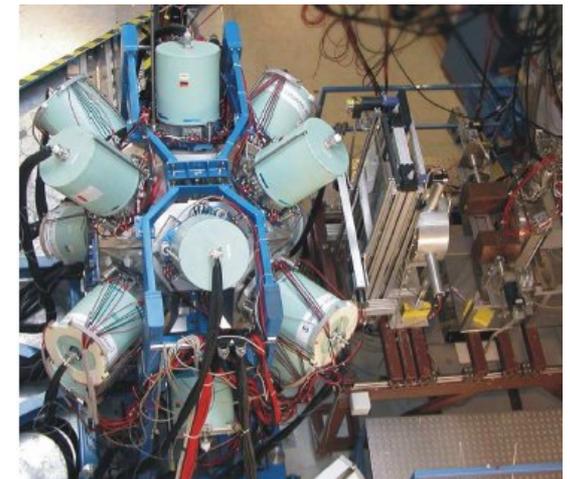
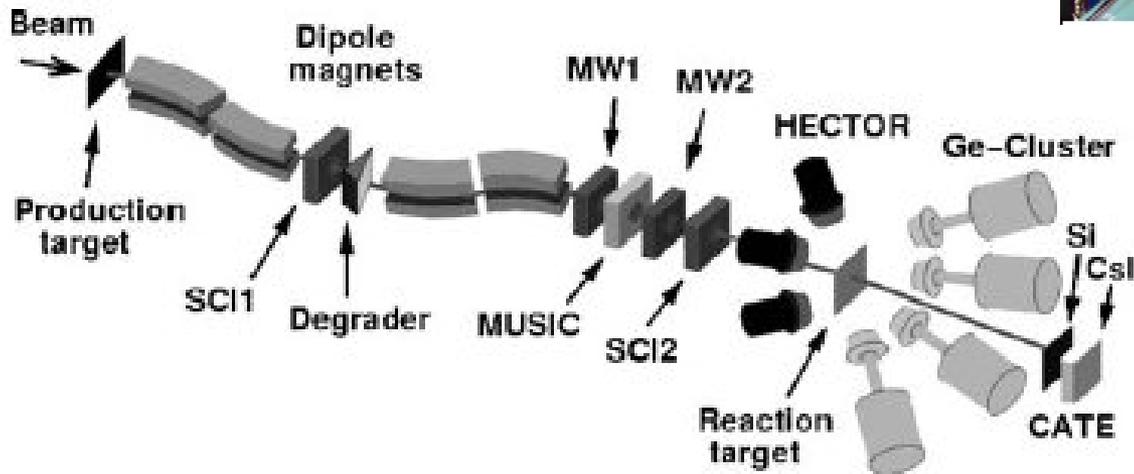
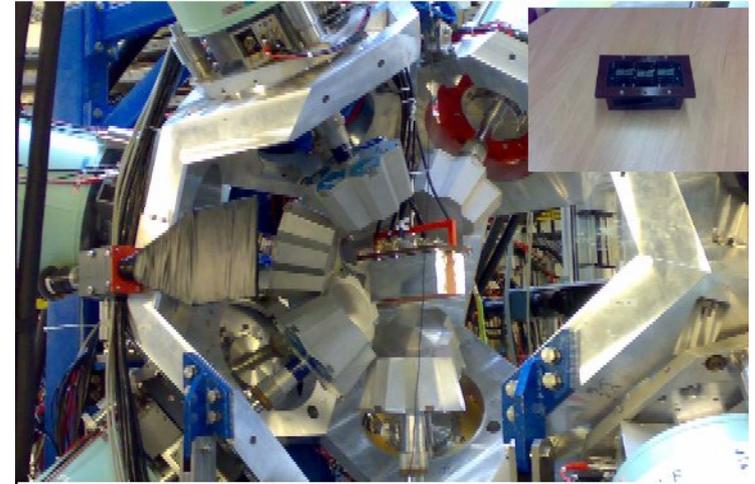


$^{134}_{54}\text{Xe}_{80}$

Espectroscopía gamma

3.2 Emisión gamma retardada por estados isoméricos

Espectroscopía de núcleos exóticos relativistas.
Sólo aquellos núcleos producidos en un estado isomérico con una vida media superior a 100 ns pueden ser estudiados.

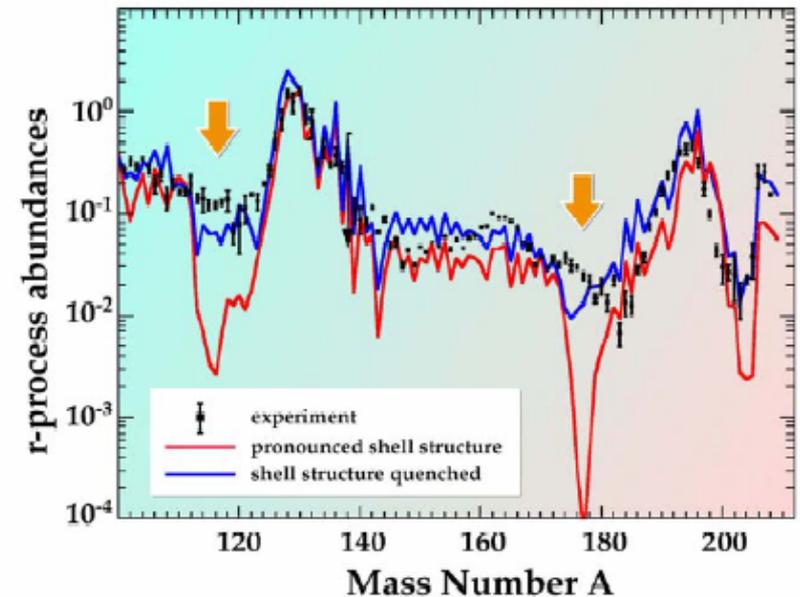
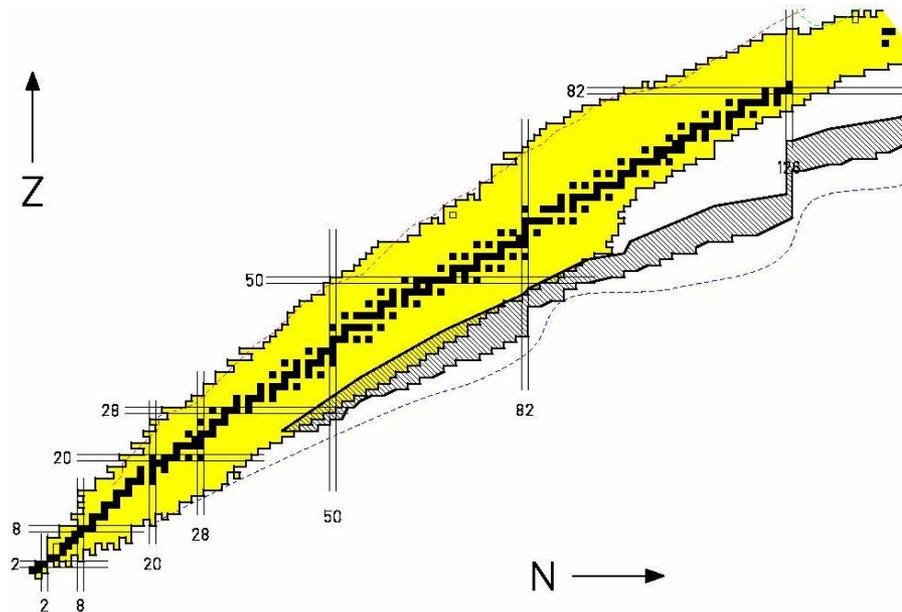


Espectroscopía gamma

3.2 Emisión gamma retardada por estados isoméricos

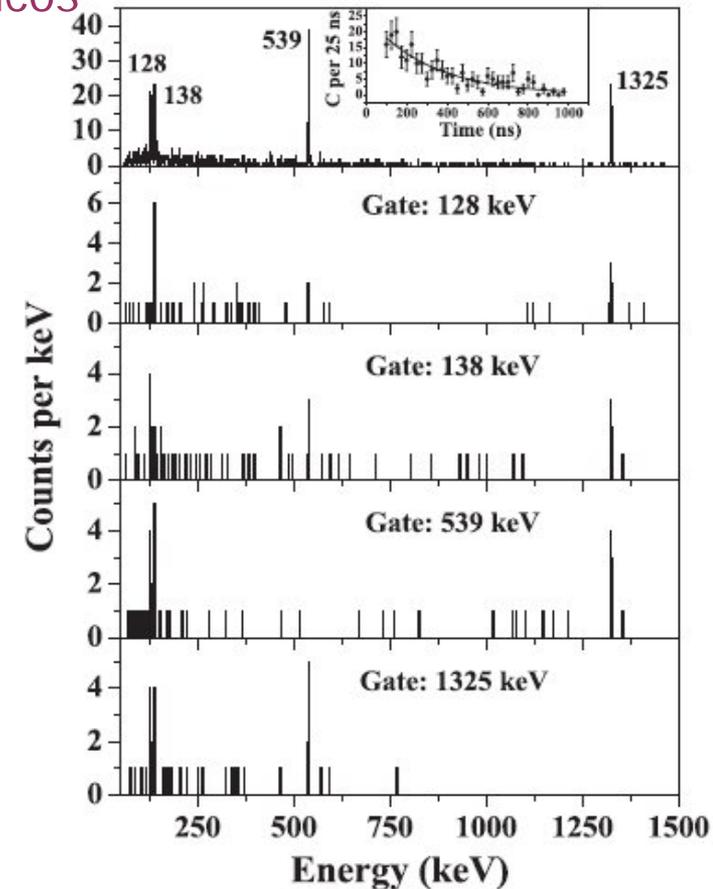
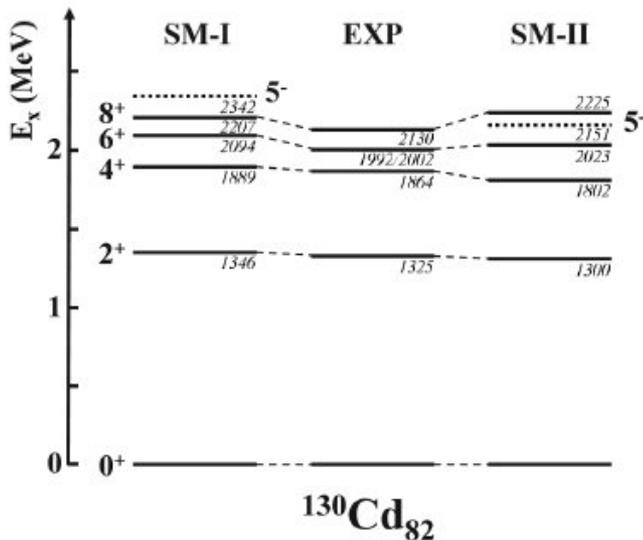
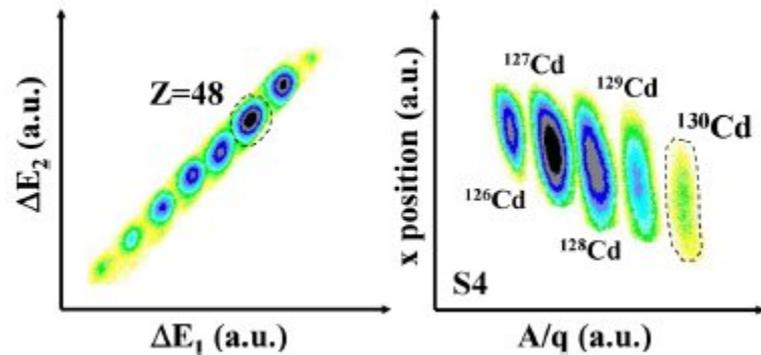
Estructura del ^{130}Cd , un núcleo clave en el proceso r de nucleosíntesis estelar.

Varios modelos sugieren un debilitamiento de la capa $N=82$ para explicar las abundancias de núcleos pesados que se observan en el Universo.



Espectroscopía gamma

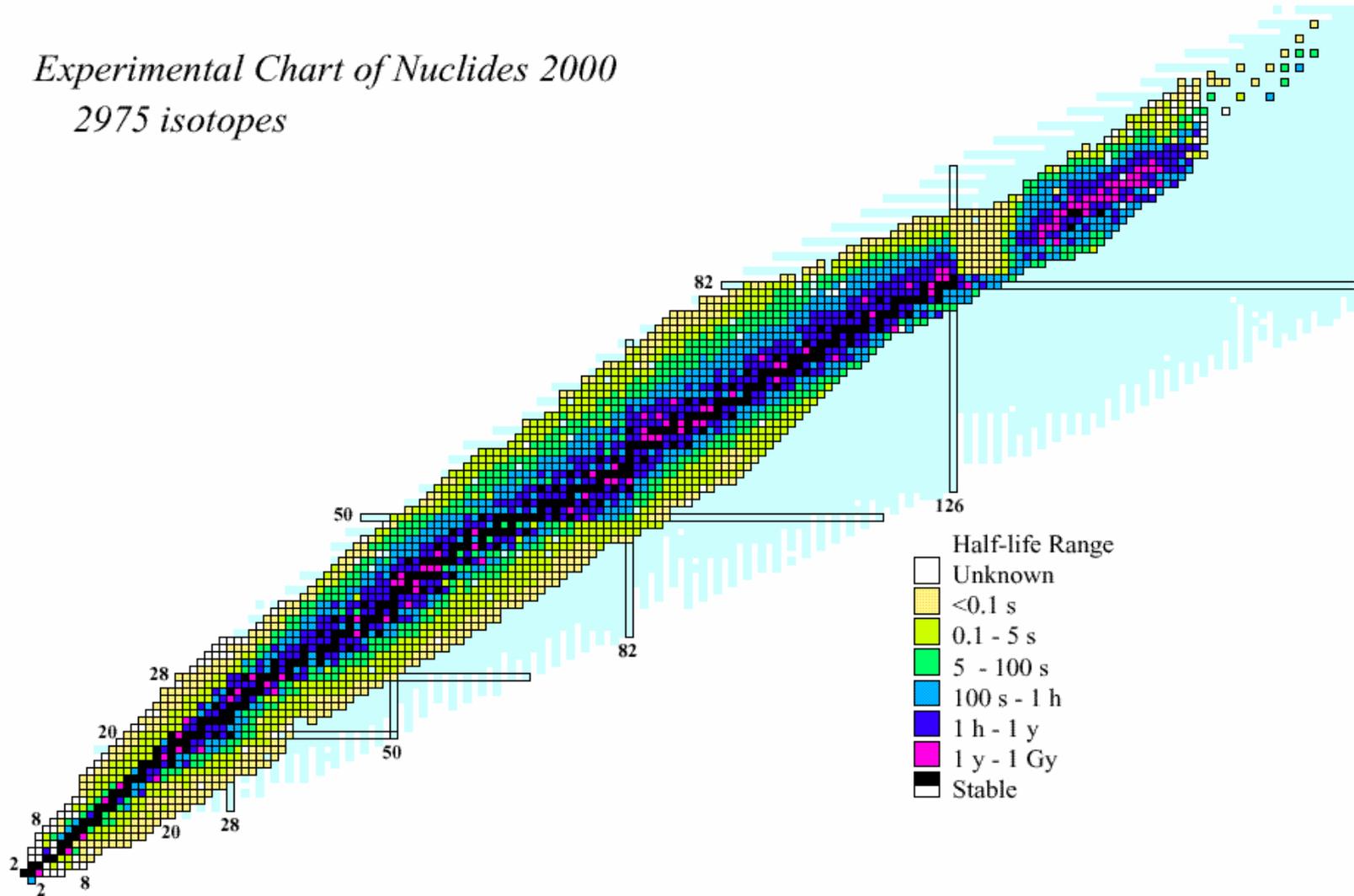
3.2 Emisión gamma retardada por estados isoméricos



El esquema de niveles excitados confirma la existencia de la capa cerrada en el ^{130}Cd .

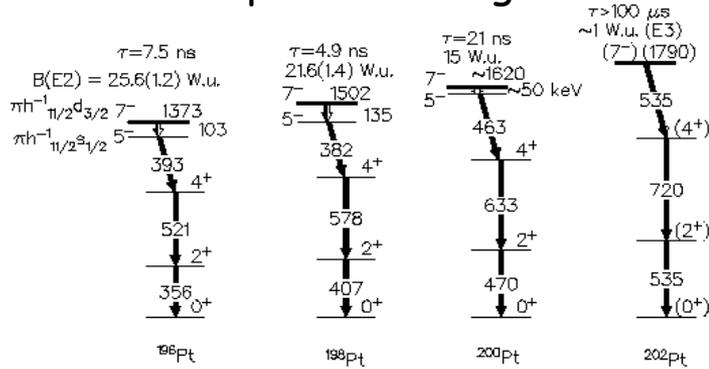
Espectroscopía de estados isoméricos

Experimental Chart of Nuclides 2000
2975 isotopes

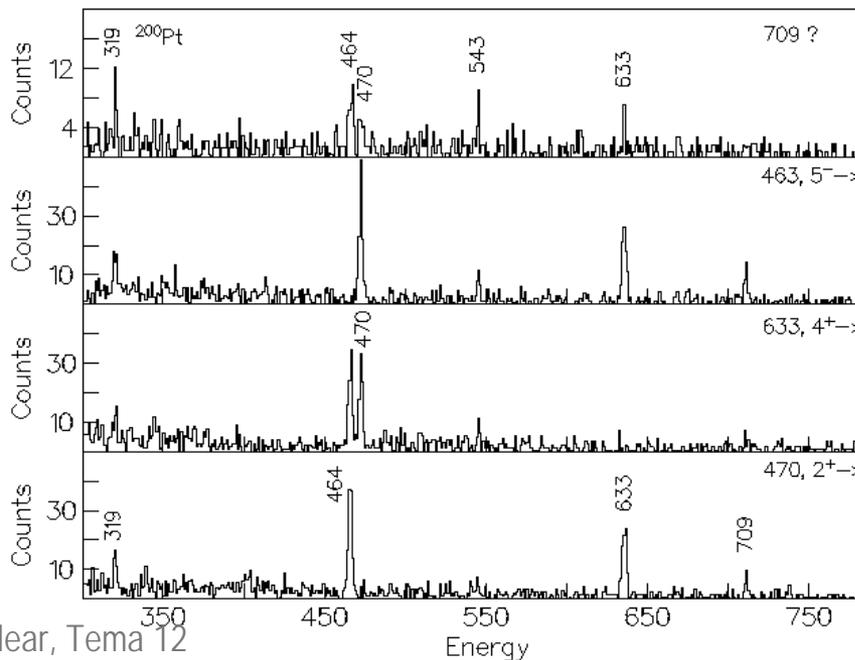
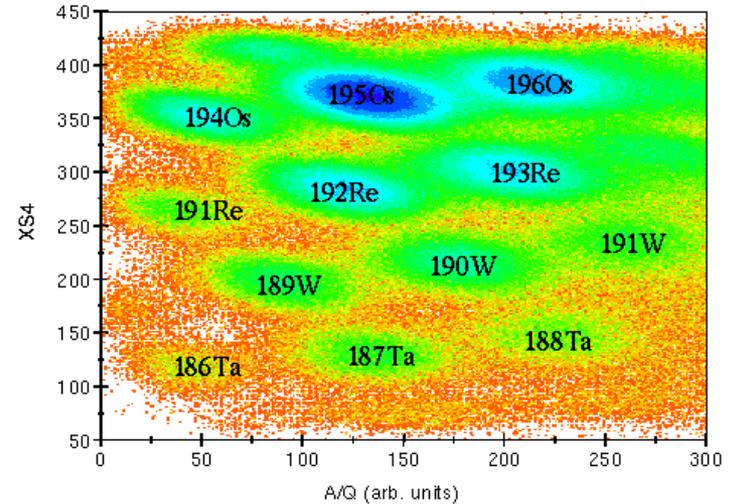


Espectroscopía de estados isoméricos

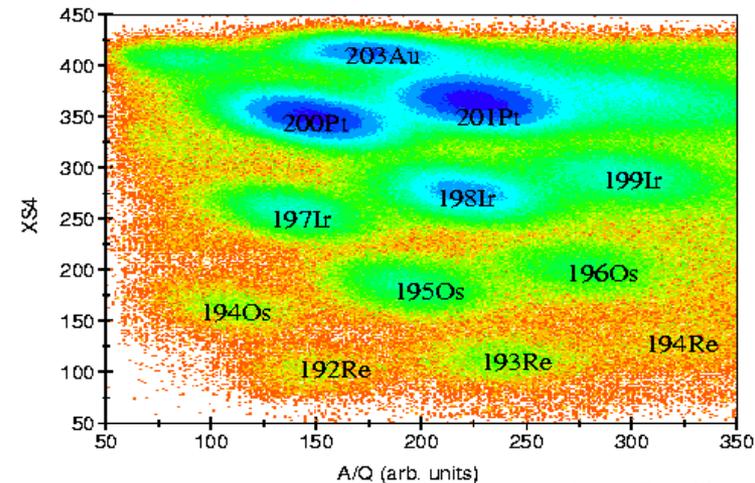
► reacciones de ruptura a energías relativistas



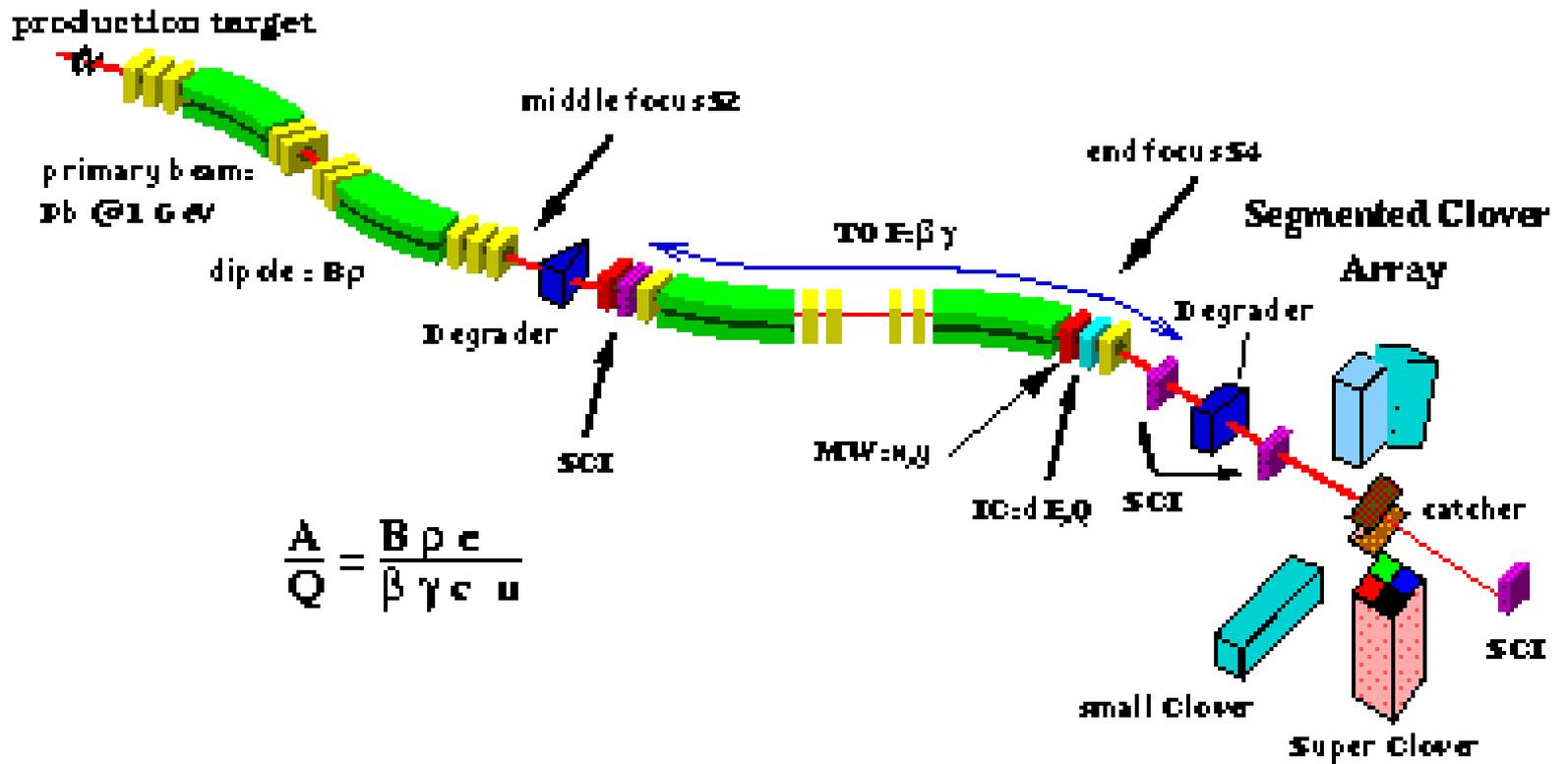
Q=Z



Q=Z-1

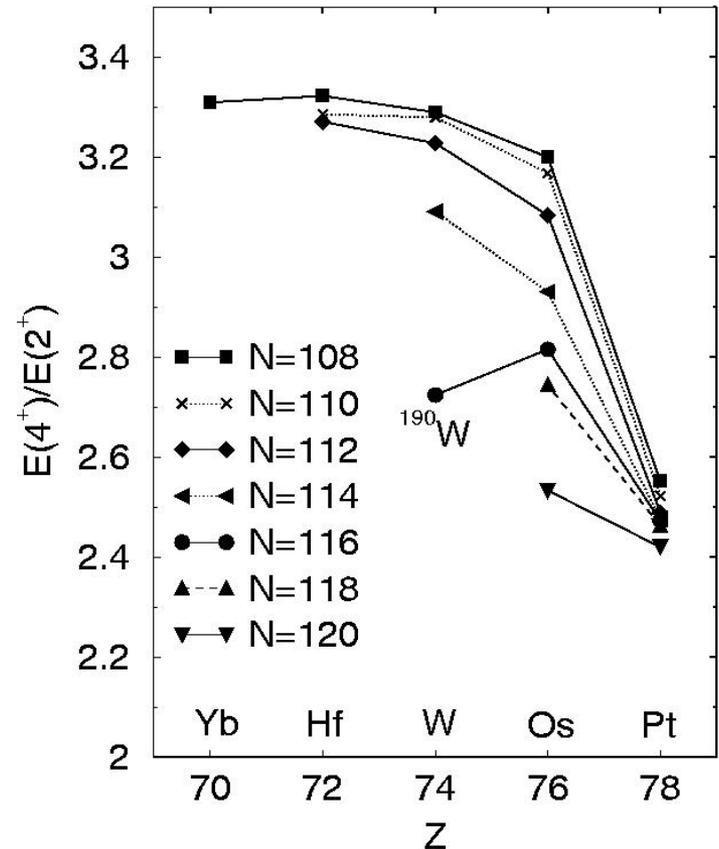
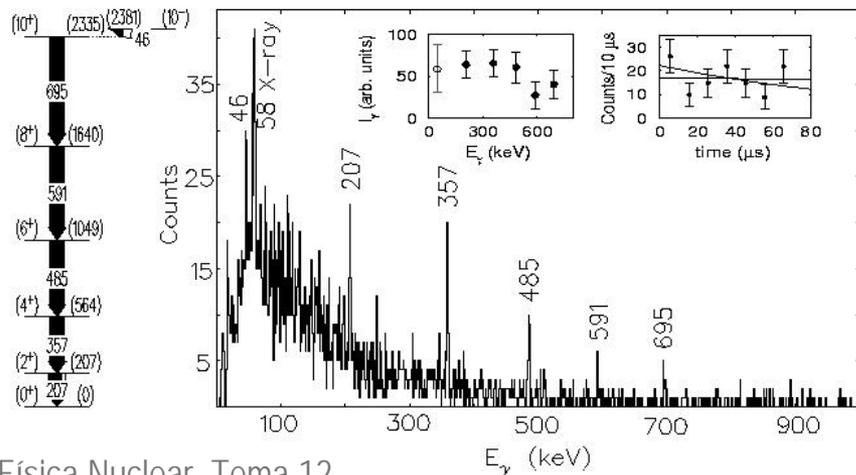
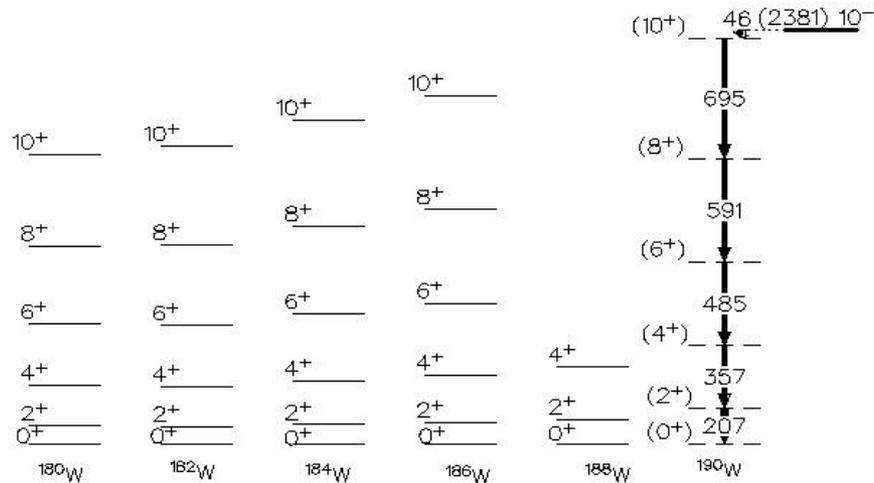


Espectroscopía de estados isoméricos



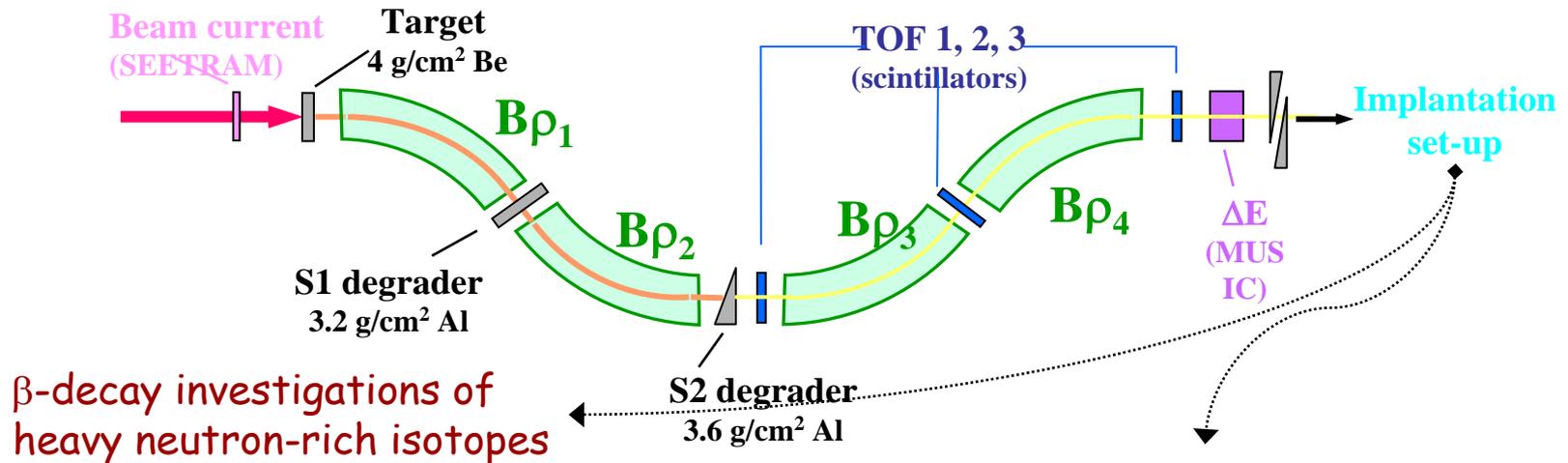
Espectroscopía de estados isoméricos

➤ reacciones de ruptura a energías relativistas

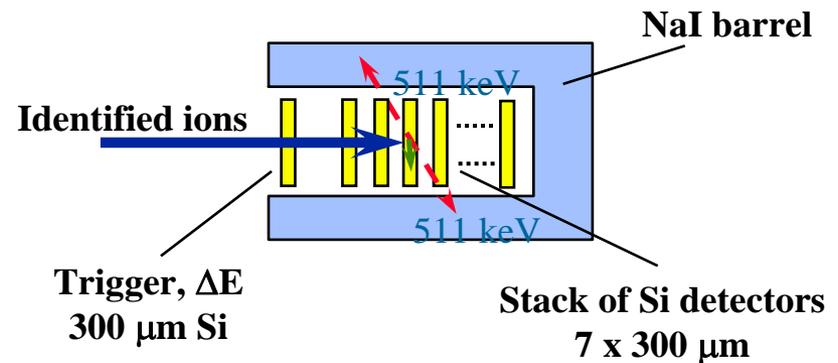


Desintegraciones radiactivas

➤ técnicas de producción-implantación

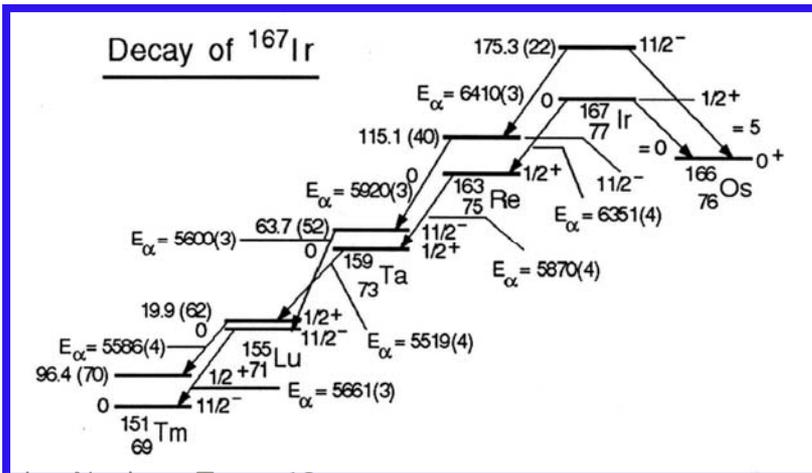
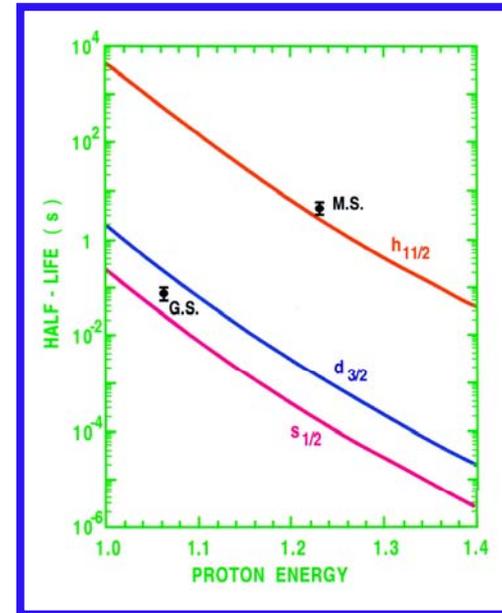
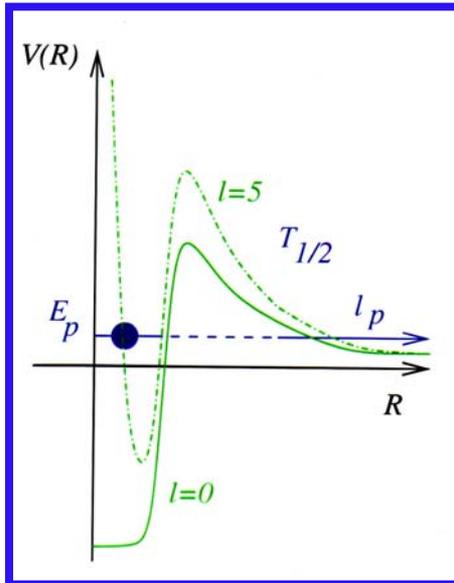


Two proton radioactivity



Desintegraciones radiactivas

➤ radiactividad de un proton

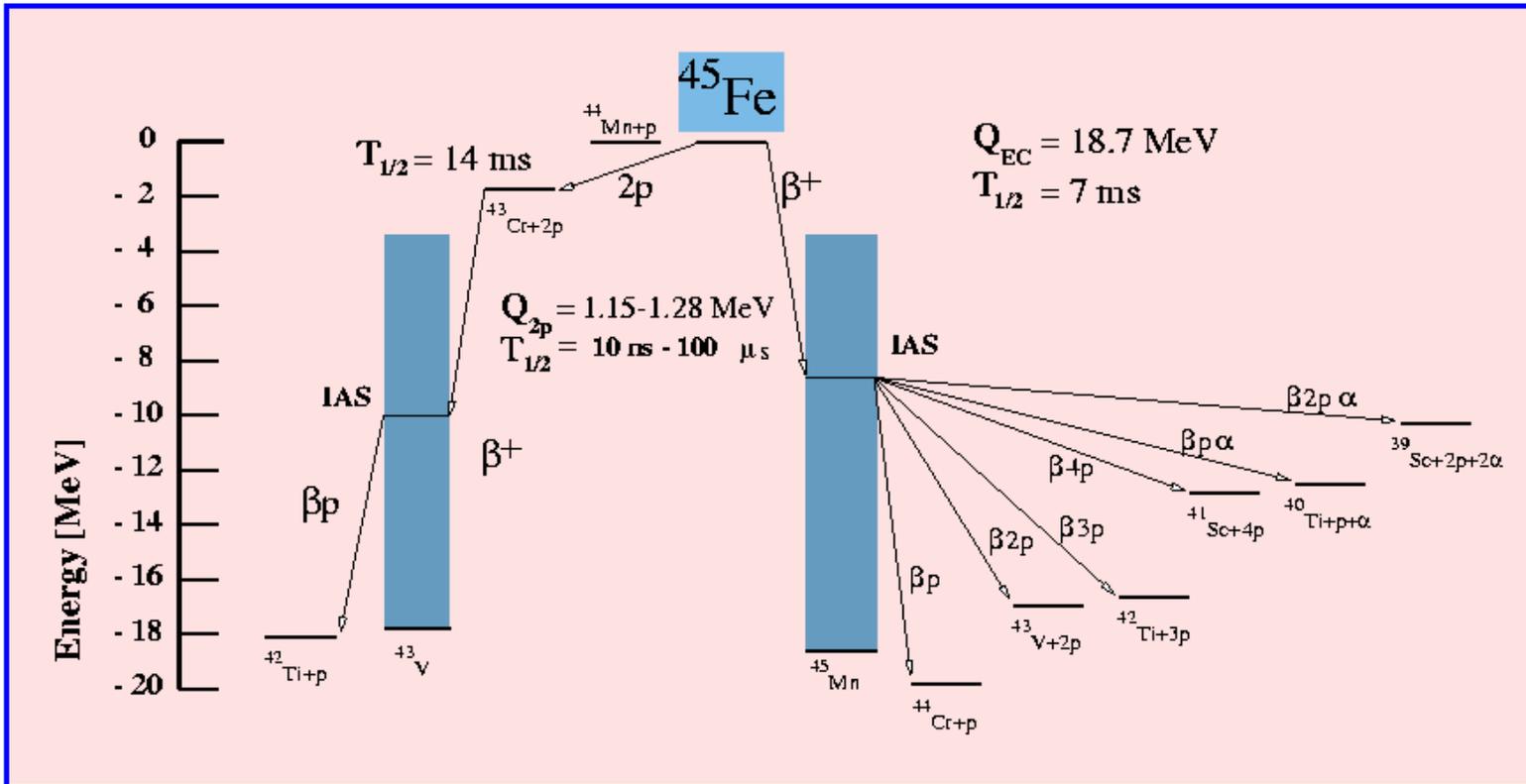


Temas de interés:

- test de modelos de masas nucleares
- estructura nuclear más allá del límite de existencia
 - orden y energía de orbitales
 - momento angular total j
 - deformación
- tunneling a través de una barrera 3D

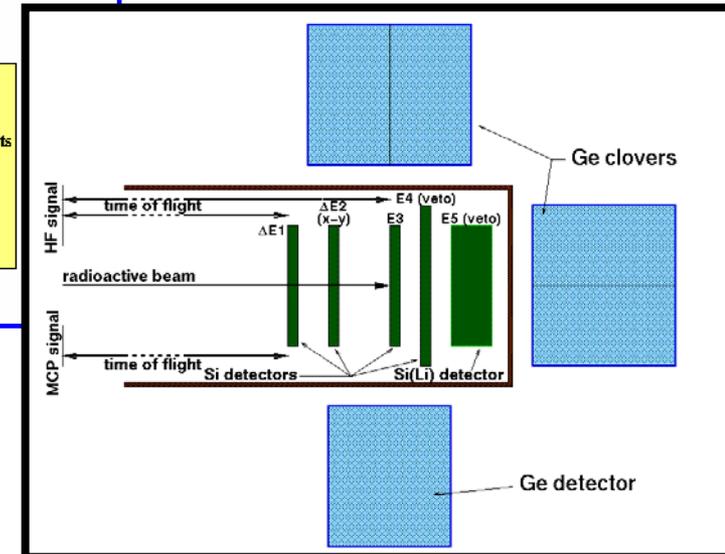
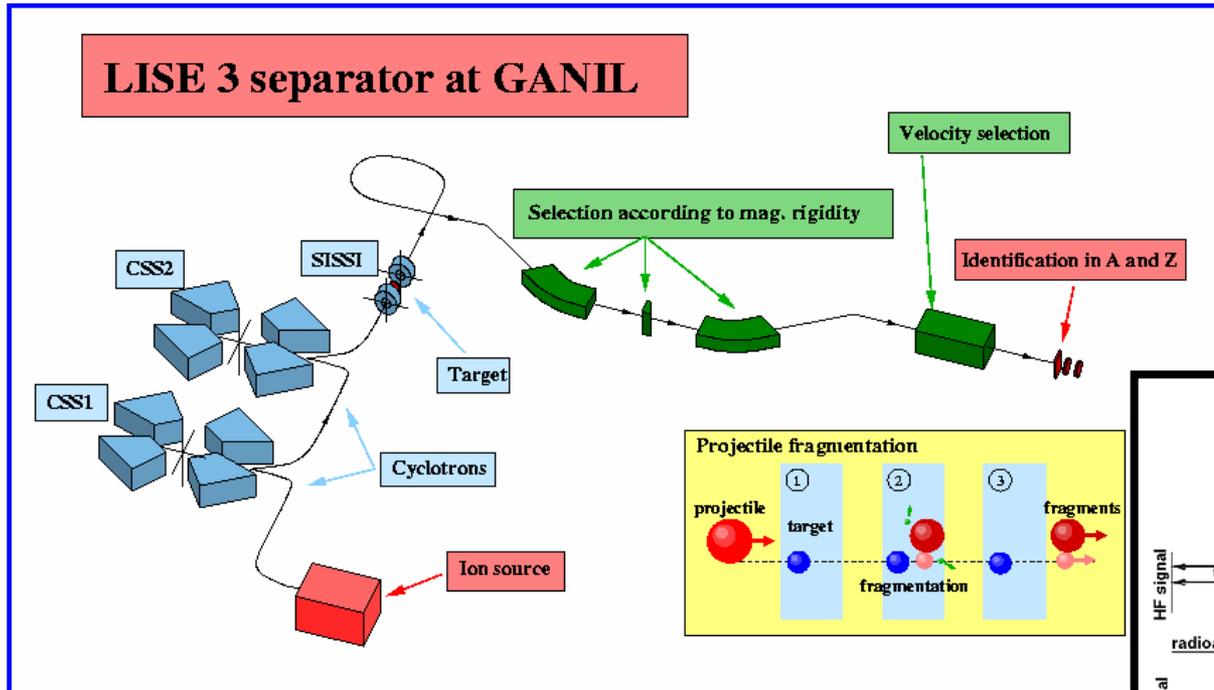
Desintegraciones radiactivas

➤ Radiactividad de dos protones



Desintegraciones radiactivas

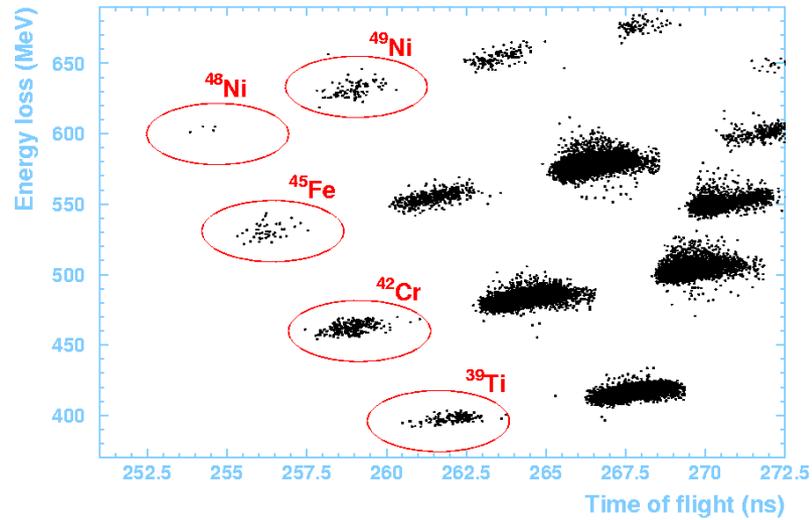
➤ Radiactividad de dos protones



- $^{58}\text{Ni}(75 \text{ MeV/A}) + \text{Ni}$
- Intensidad del haz primario: $3\text{-}5 \mu\text{A}$

Desintegraciones radiactivas

➤ Radiactividad de dos protones



10 parameters to identify:

^{48}Ni : 4 counts

^{49}Ni : 106 counts

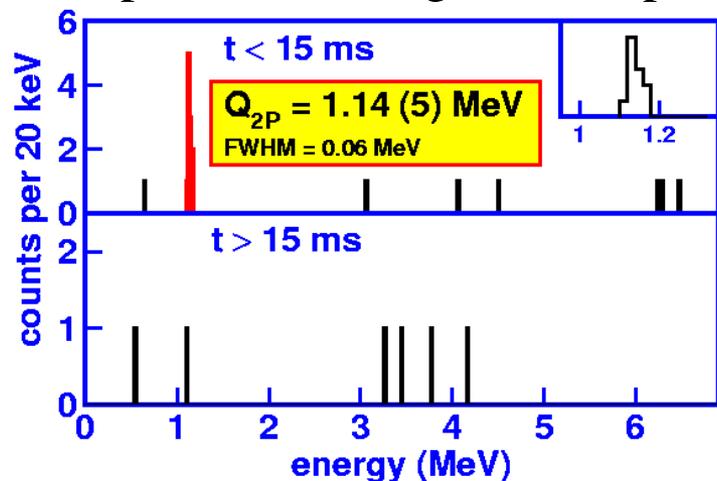
^{45}Fe : 53 counts

^{42}Cr : 287 counts

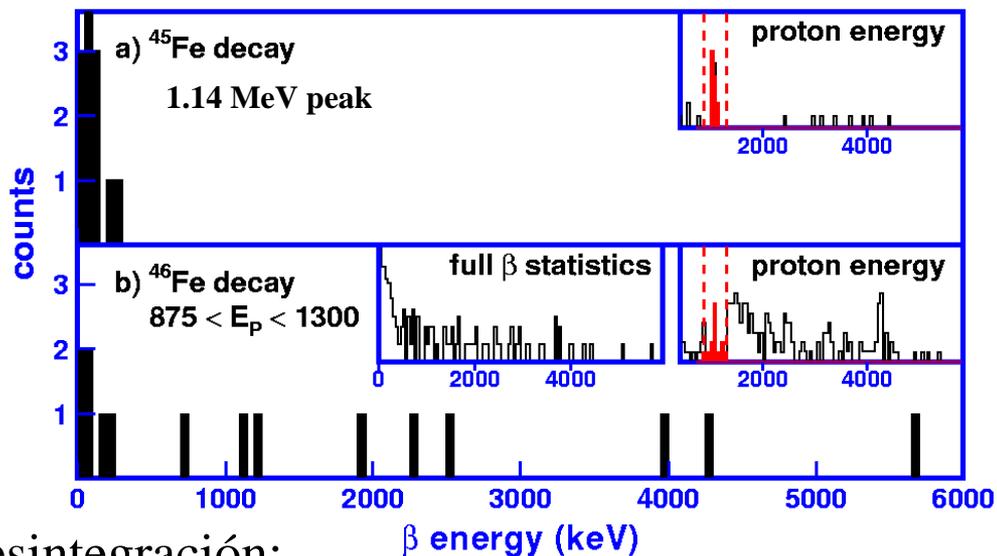
Desintegraciones radiactivas

➤ Radiactividad de dos protones

Espectro en energía de los p:



Espectro β :



Correlación temporal implantación-desintegración:

