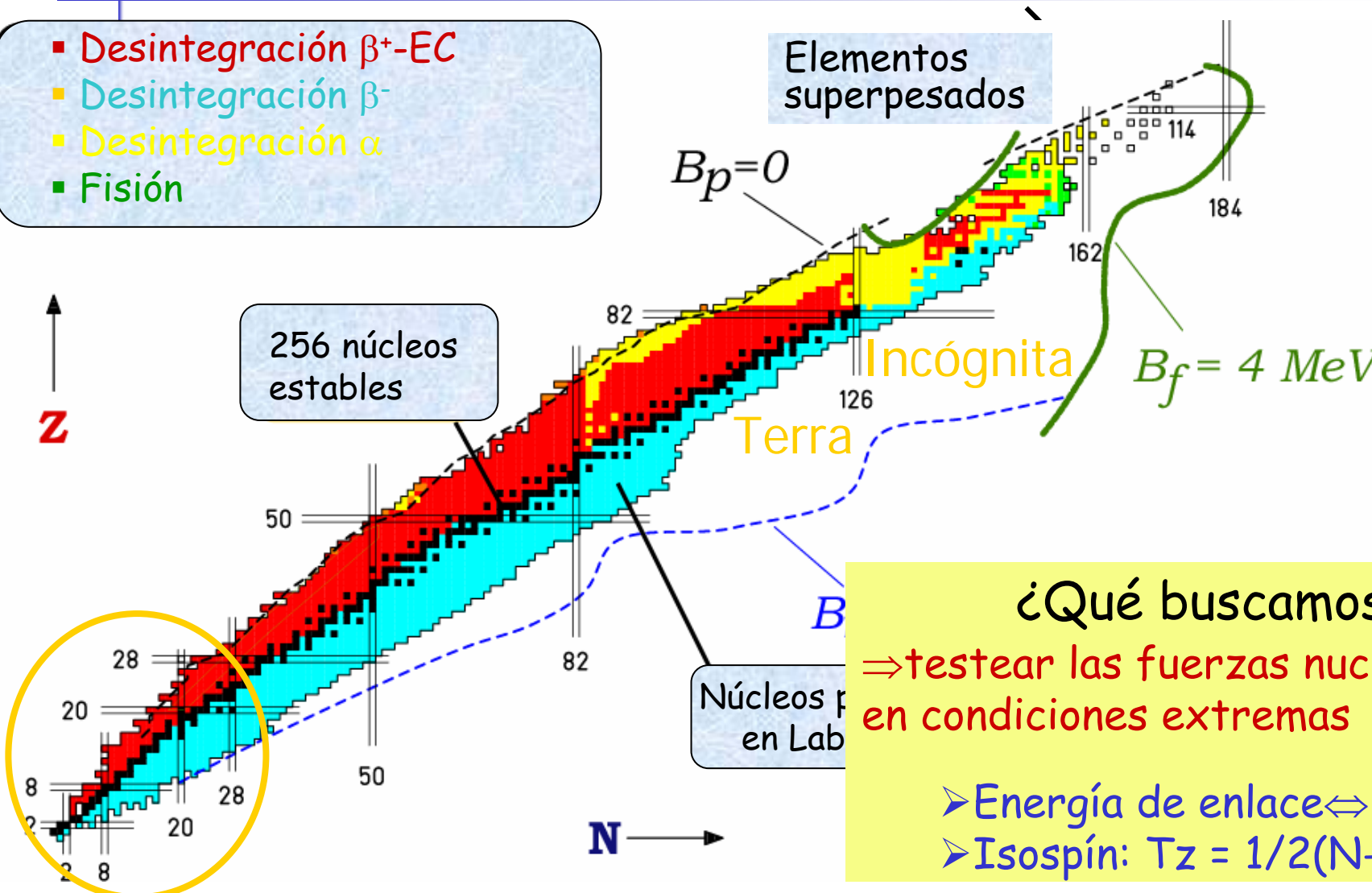


Estudio de Núcleos Exóticos: Dinámica y Estructura

M^a José García Borge

Tabla de Núclidos

- Desintegración β^+ -EC
- Desintegración β^-
- Desintegración α
- Fisión



¿Qué buscamos?
 ⇒ testear las fuerzas nucleares en condiciones extremas

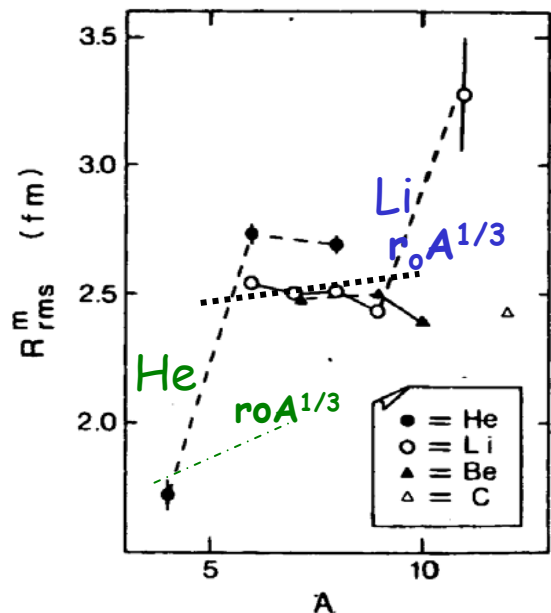
- Energía de enlace \Leftrightarrow límite
- Isospín: $T_z = 1/2(N-Z)$

¿Qué ocurre en el límite de estabilidad neutrónica?

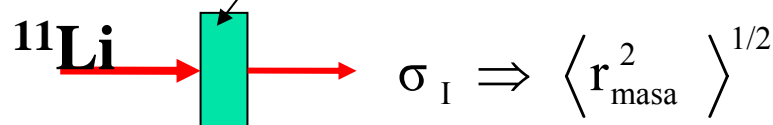
1985, Primeros Experimentos con haces radioactivos, Berkeley (USA)



Tanihata



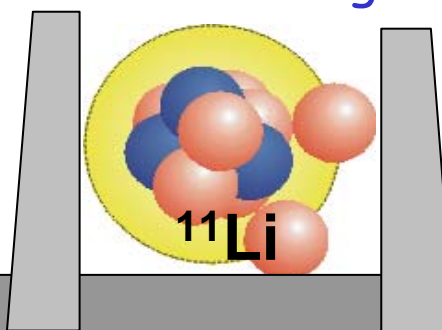
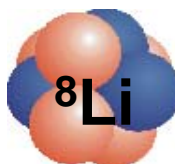
Be, C and Al



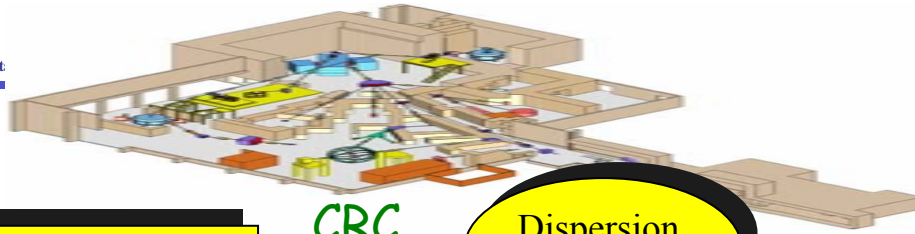
$$\sigma_I(p, b) = \pi [R_I(p) + R_I(b)]^2$$

$$R(^{11}\text{Li}) = 3.30(24) \text{ fm}$$

¿Por qué su radio de masa es tan grande?



¿Cómo obtener la información completa ?



Secciones Eficaces

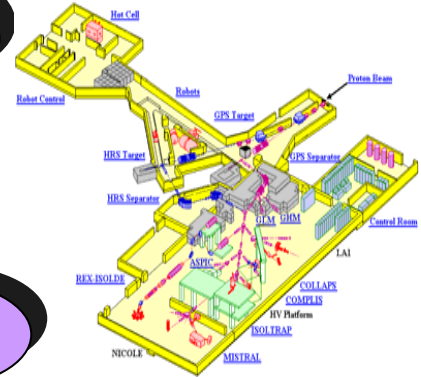
CRC, Bélgica

Dispersion Elástica

REX-ISOLDE

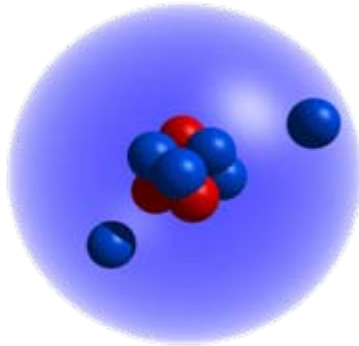
ISOLDE (CERN)

Spin Momentos μ, Q



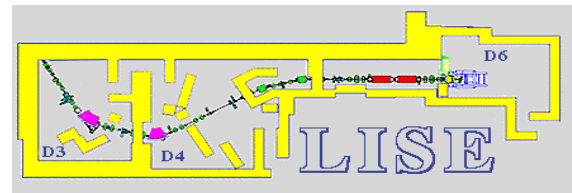
Masas

Desintegración Beta

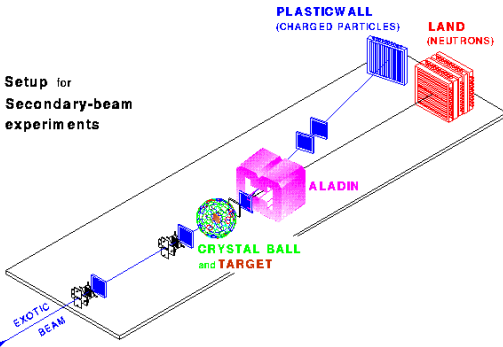


Distribuciones de Momento

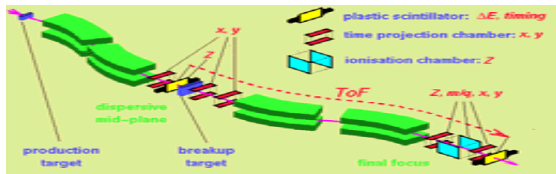
Nucleos Resonances



GANIL, Francia

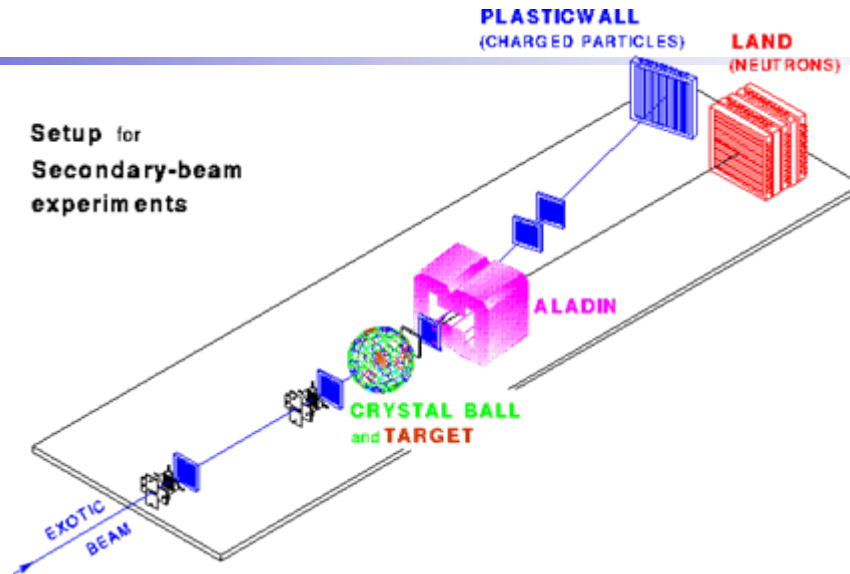


Setup for Secondary-beam experiments



FRS, GSI, Alemania

Caracterización de núcleos con halo en cinemática completa



Experimentos Variables

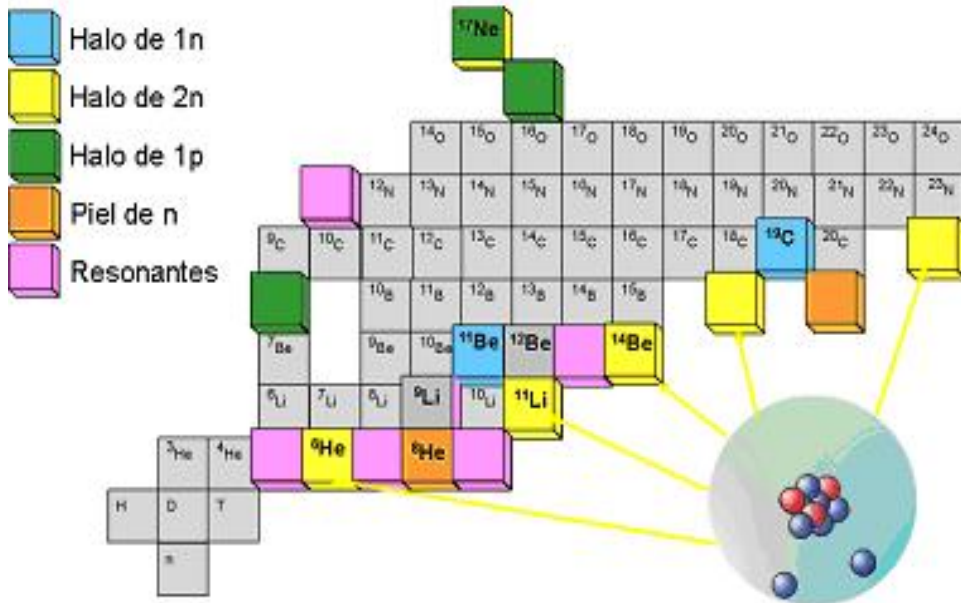
Energía Haz	30 → 1500 MeV/A
Blanco	C → Pb
Proyectil	${}^6\text{He}$ → ${}^{19}\text{C}$

Observables

- Distribución de momentos de neutrones
- Momento de los fragmentos
- Invariante de masa
- Correlaciones angulares

- Distribución de momento del halo neutrónico
- Obtención de función de ondas (componentes s y p)
- Distribución espacial de los neutrones en el halo

Núcleos con:



Hitos

- ❖ Estructura del halo de 2n observado ^{11}Li . Medidas en cinemática completa.
- ❖ Dinámica de tres cuerpos: core+n+n
- ❖ Identificación de otros núcleos con halo: ^6He , ^{14}Be
- ❖ Composición de función de onda, confirmación de presencia de onda-s
- ❖ Caracterización de núcleos de 1n en el halo como ^{11}Be y ^{19}C
- ❖ Identificación de la estructura de ^8He como piel neutrónica.

Publicaciones: 40/Citas: 1300

Propiedades de la desintegración de núcleos exóticos

➤ Propiedades Globales

- *Short half-lives* (~10ms)

- *Valores Q_β altos*

- *Valores $S_{p/n}$ bajos*

β -emisión de partículas

➤ SONDA MUY SELECTIVA

- *Selection rules:*

- Fermi: $\Delta T=0$; $\Delta J=0$; $\pi_f = \pi_i$

- Gamow-Teller: $\Delta T=0\pm 1$; $\Delta J=0\pm 1$; $\pi_f = \pi_i$

- *Probabilidad de transición reducida*

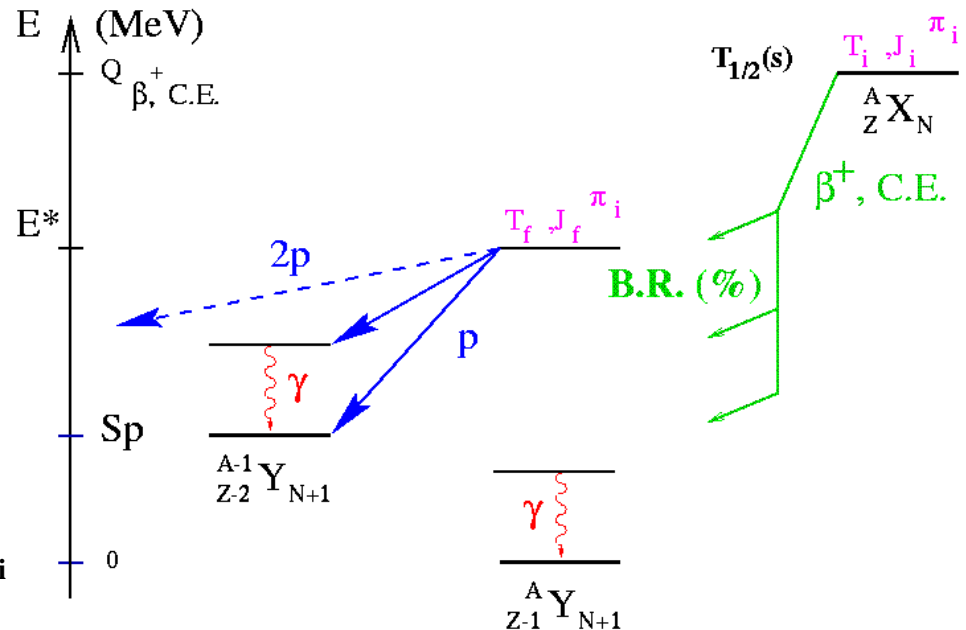
$$ft = f * \frac{T_{1/2}}{B.R.} = \frac{K}{G_V^2 |\tau|^2 + G_A^2 |\sigma\tau|^2} = \frac{C}{B(F) + B(GT)}$$

±1916

Rutherford & Wood $\beta\alpha$ [*Philos. Mag.* **31** (1916) 379]

±1963

Barton & Bell identified ^{25}Si as βp



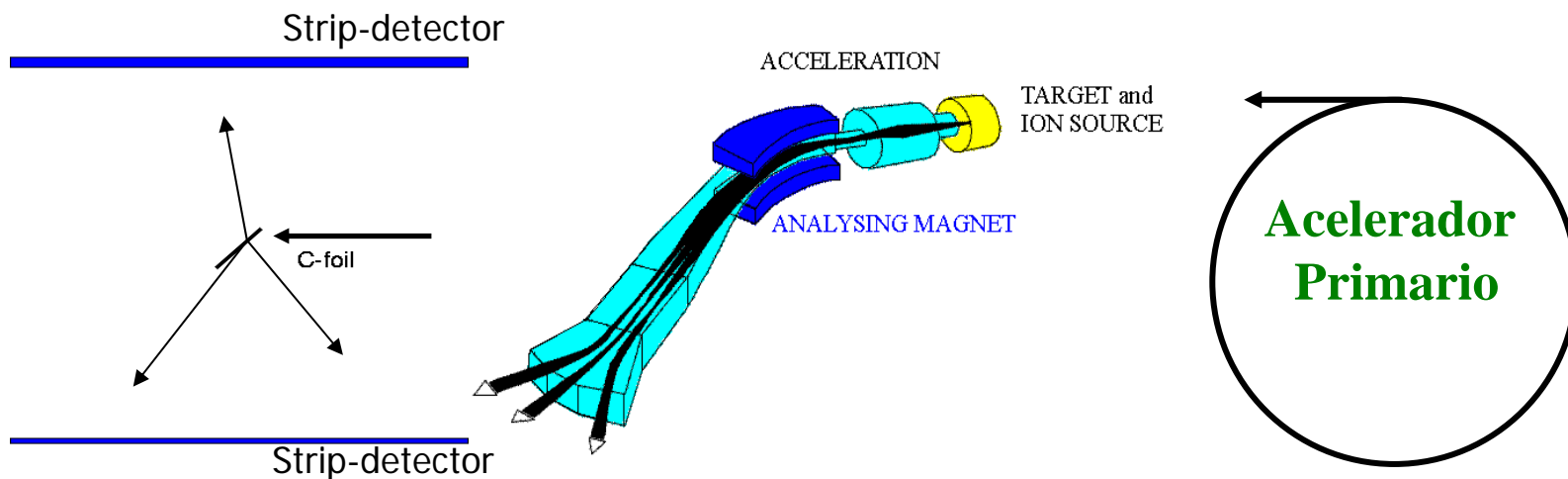
E, Γ

Densidad de niveles

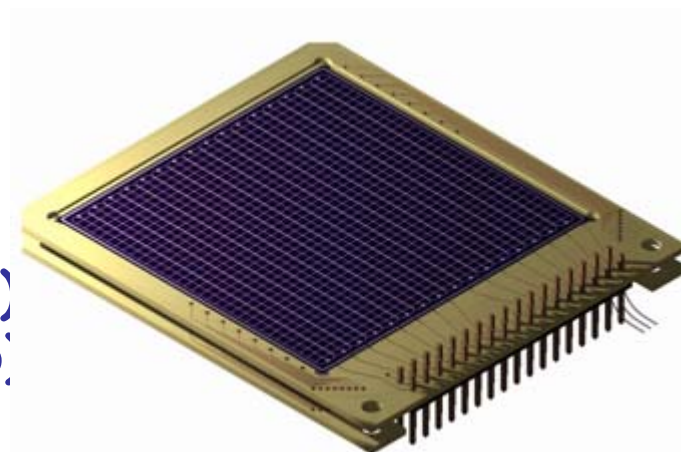
Spin, Isospin

β -Prop.

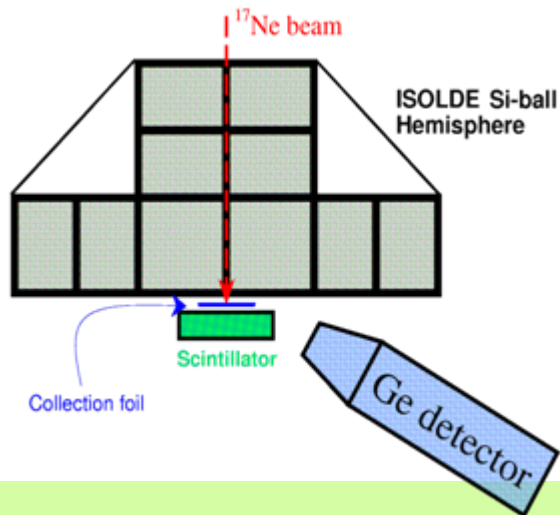
Desintegración



- Método **ISOL**
- Población del nivel por desintegración β
 - Metodo limpio y selectivo
- Uso de **DSSDs**, cinemática completa
 - Gran cobertura angular (pocos sucesos)
 - Alta segmentación (evita apilamiento)
 - Lectura efectiva de datos



^{17}Ne Emisión retardada de partículas cargadas @ ISOLDE



⇒ Información sobre estados de ^{16}O y su efecto en el proceso



✓ 6917 keV y 7117 keV

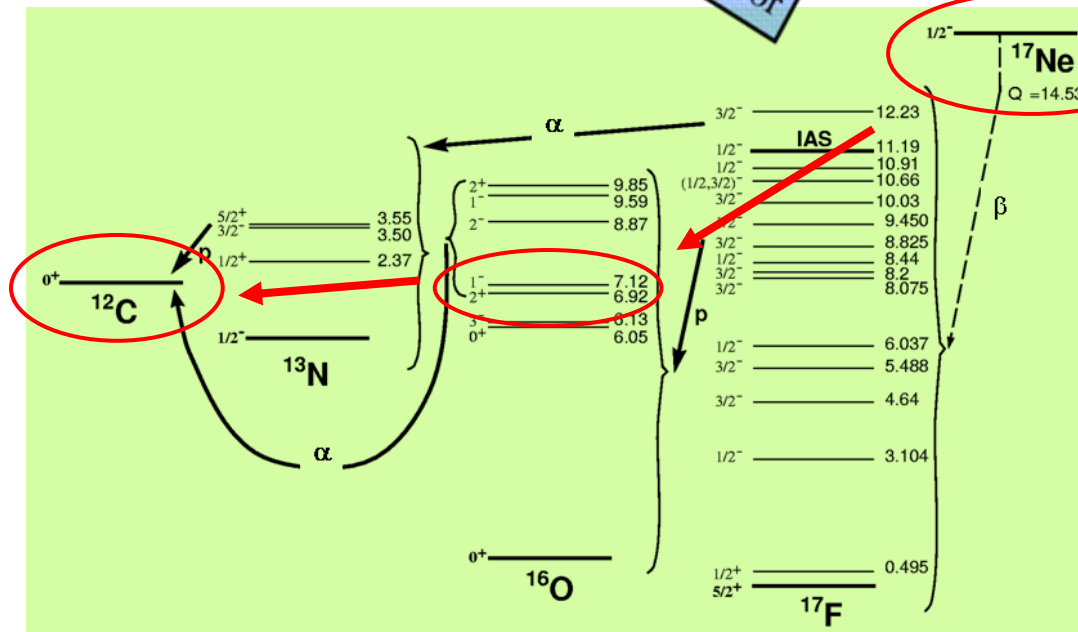
✓ anchura de niveles

✓ Experimento

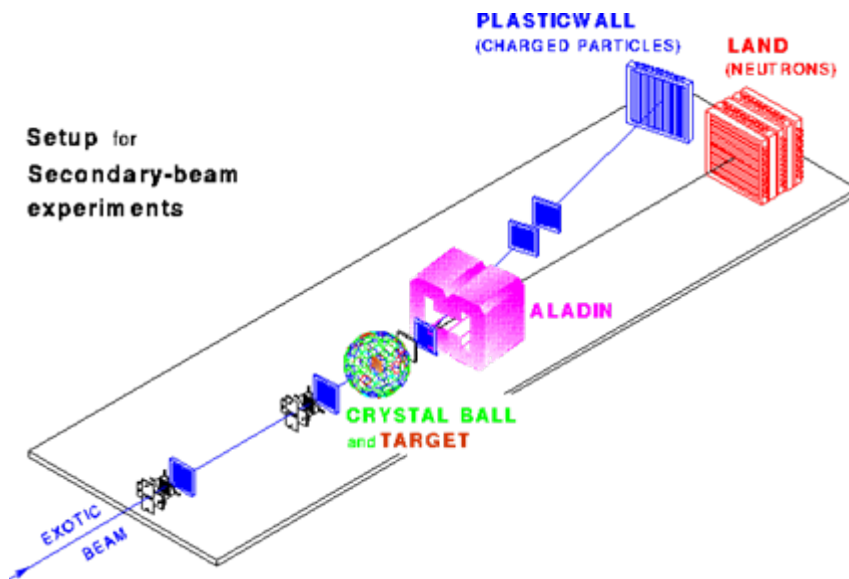
➤ detección de α y protones

➤ discriminación de betas

➤ Idealmente: $\beta + p + \alpha + ^{12}\text{C}$



Estudio del halo de 2p de ^{17}Ne @ GSI



Grigorenko, Parfenova & Zhukov, Phys. Rev. C 71(2005) 051604(R)

Existencia de un halo de 2p
 \Leftrightarrow Mezcla conf s/p.

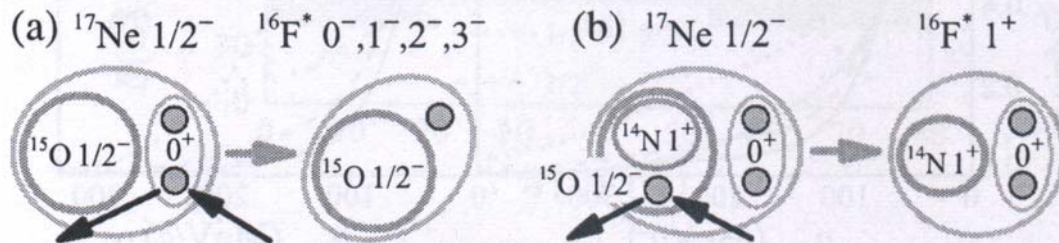
Discrepancia en σ_{-2p} (30-40%) \Rightarrow Dos alternativas:

1. Proton del core ^{15}O
2. Proton del halo

Medida del invariante de masa resuelve el problema

Medida de $^{15}\text{O}+p$ (^{16}F):

- Proton Knock-out del halo
- Proton knockout del core



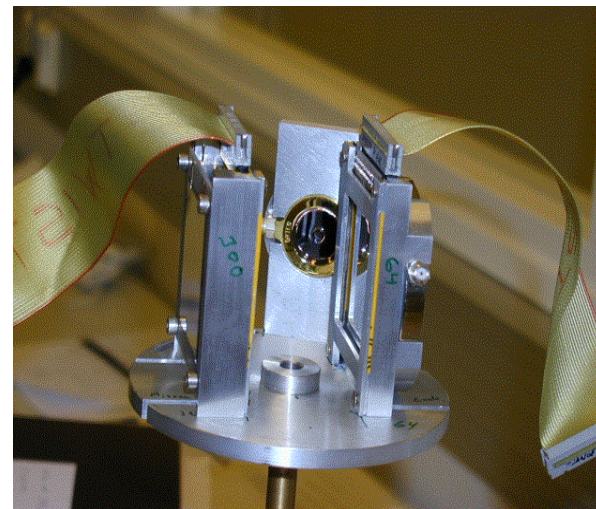
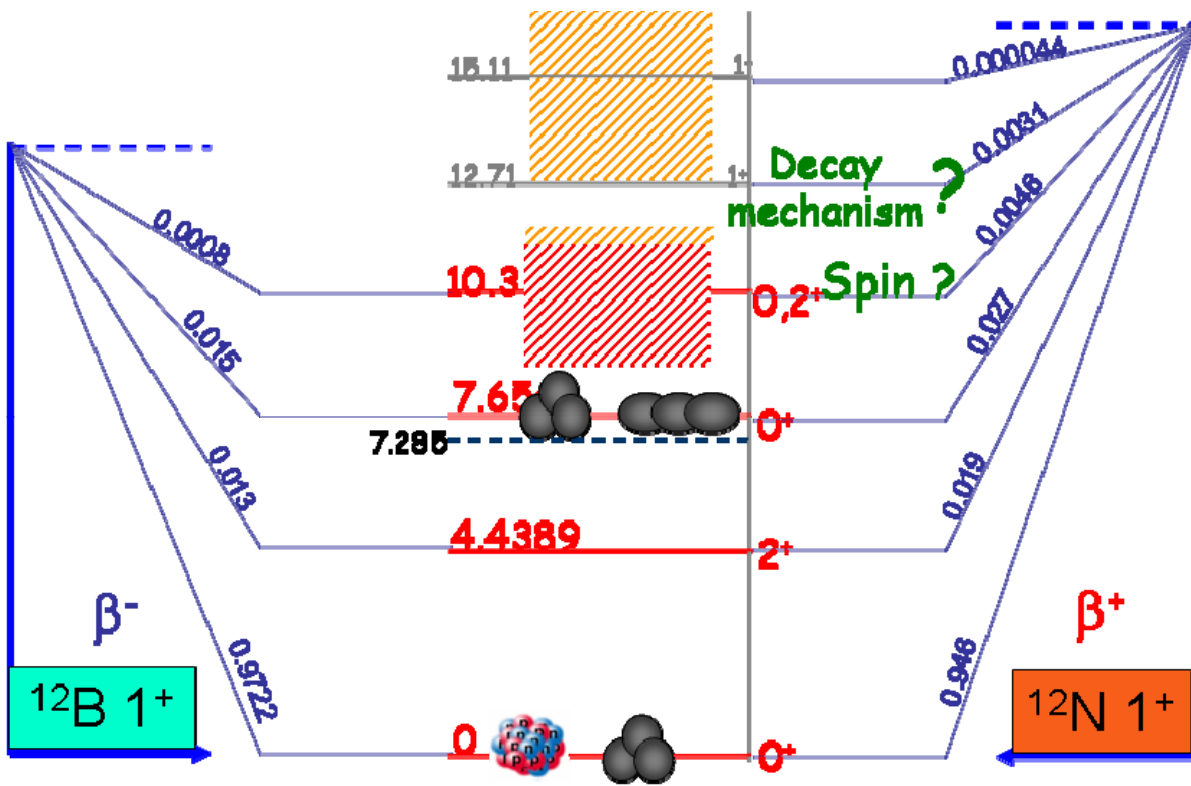
Resonancias en ^{12}C y su influencia en el ritmo de fusión de 3α

Toma de datos en ISOLDE (CERN) + Jyväskylä (Finlancia) + KVI (Holanda)

Objetivo: Mecanismo de emisión

Revision del ritmo de fusión de 3α

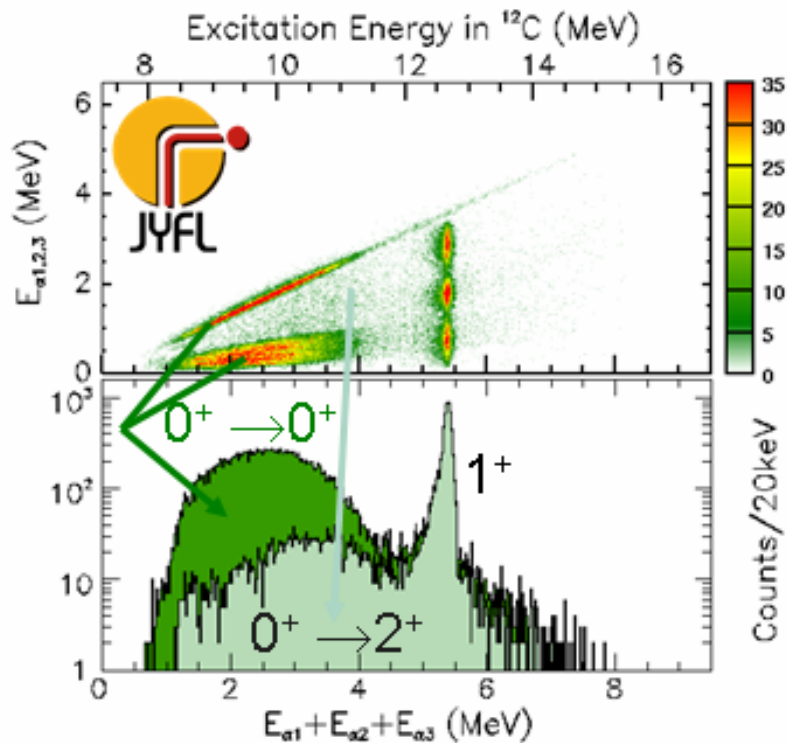
Interes astrofisico. Abundancia de ^{12}C y ^{16}O at final del proceso de quemado de He



Resultados del estudio de las resonancias de ^{12}C

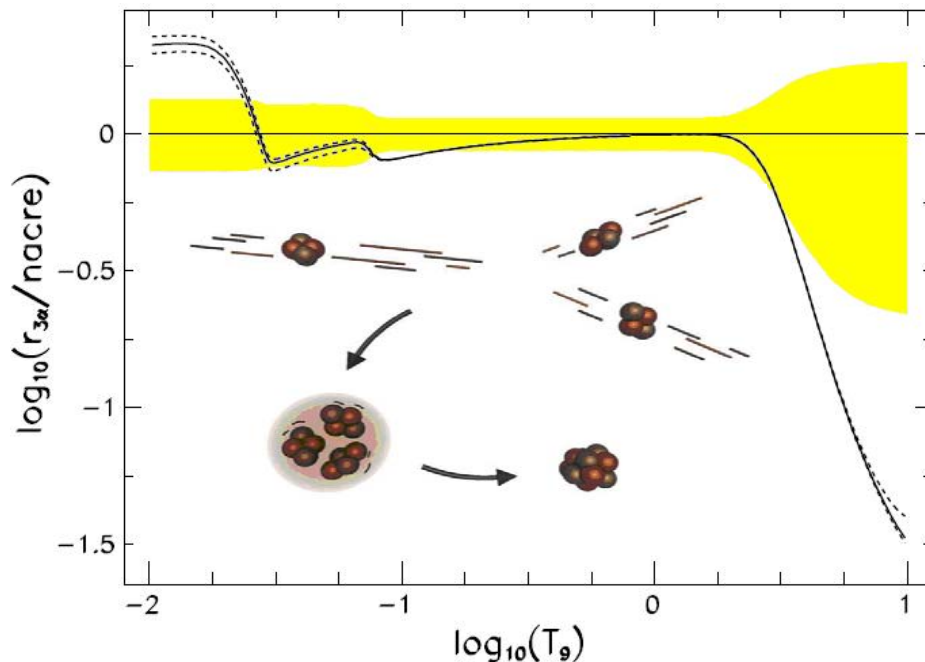
Información de Estructura Nuclear

- ✓ ruptura del nivel 1^+ @12.7 MeV \Rightarrow secuencial .
- ✓ Energía anchura y $J^\pi = 0^+$ para estado a 10 MeV.
- ✓ canales de desexcitación del nivel 10 MeV a través de 0^+ y 2^+ en ^8Be .



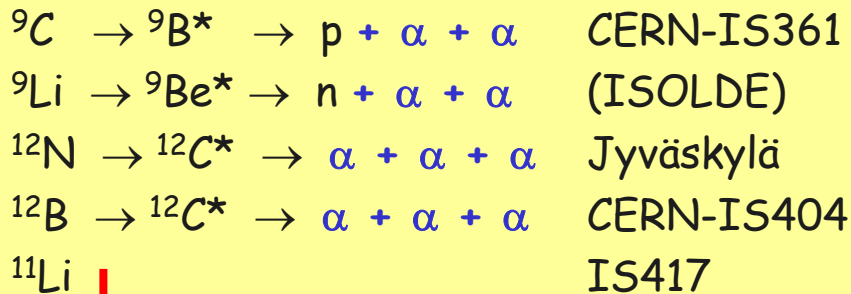
Nucleosíntesis:

- ✓ $T < 10^8\text{K} \Rightarrow \frac{1}{2}$ tiempo para alcanzar la cantidad de ^{12}C necesaria para iniciar el ciclo de CNO en estrellas primordiales.
- ✓ $T > 3 \times 10^9 \Rightarrow$ reducción (factor 2-3) en producción ^{56}Ni y elementos más pesados en supernovas ricas en neutrones.

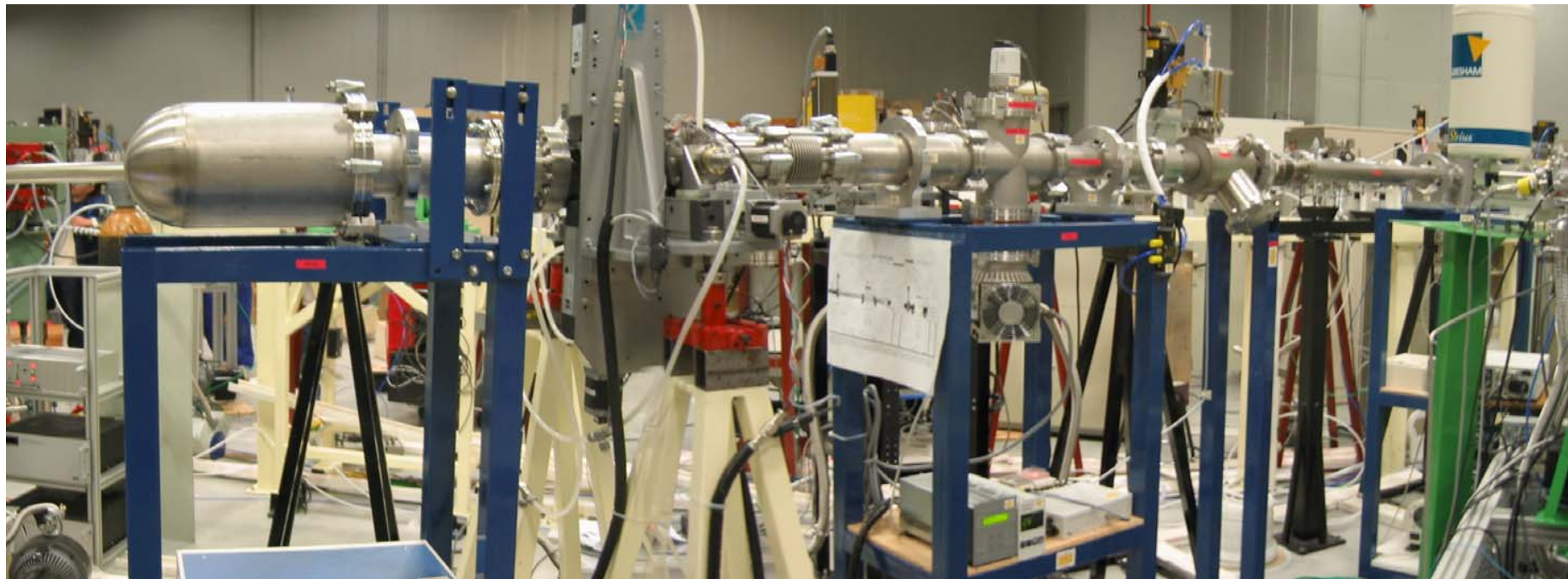
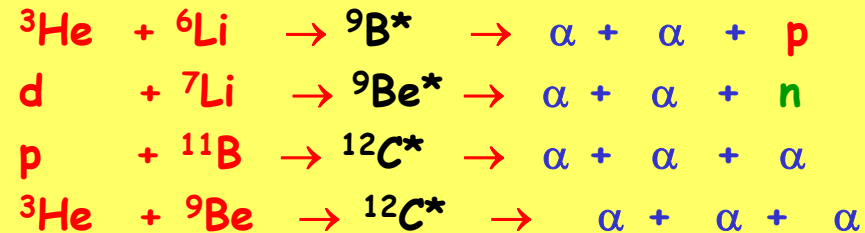


Mecanismo de emisión de multipartículas

β -delayed particle emission - ISOLDE



Reaction studies - CMAM tandem

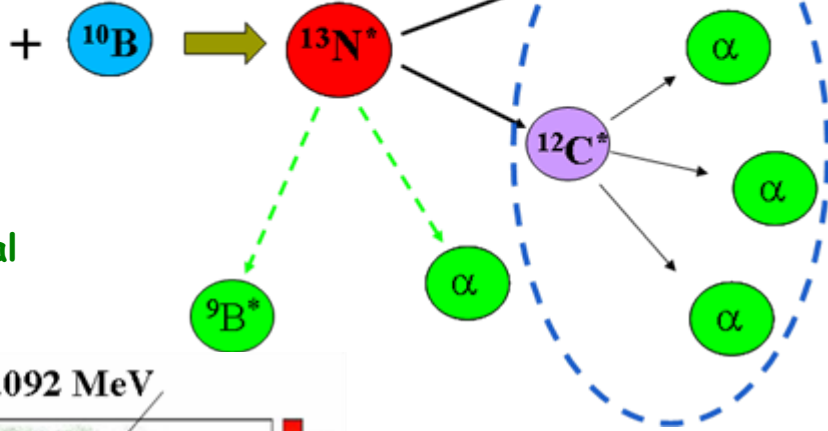


Estudio de Reacciones en el CMAM

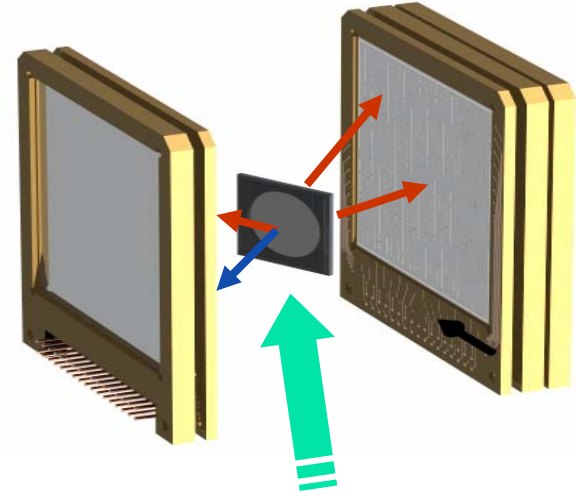


^3He @ 2.45 MeV

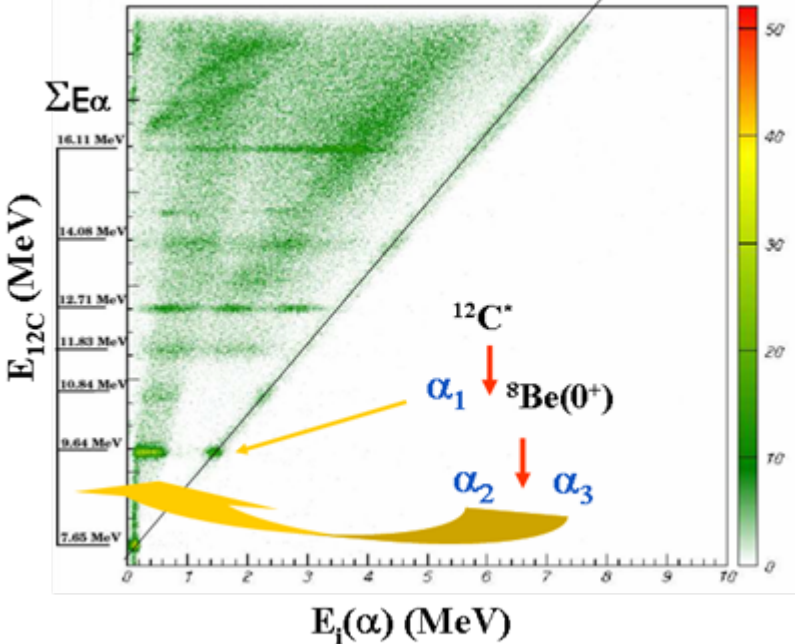
17 mg/cm²



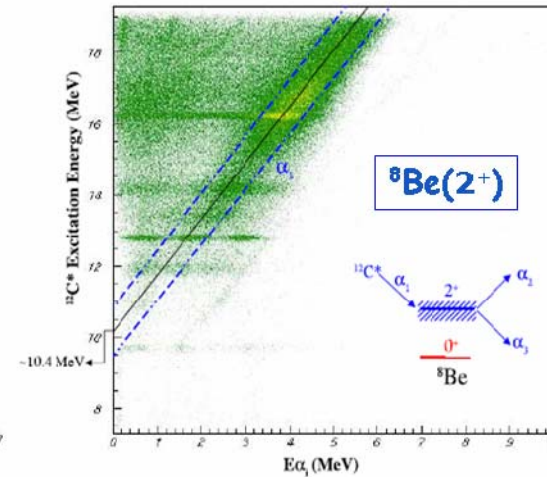
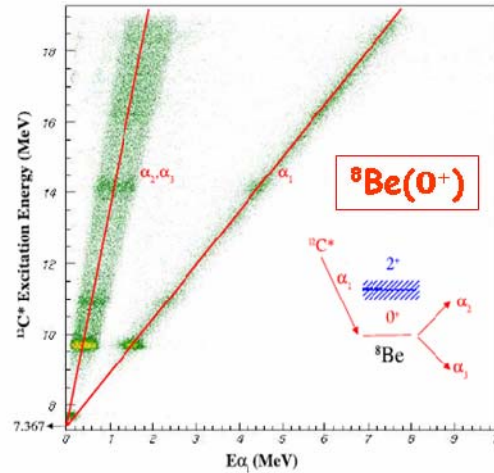
Seleccionando el canal de protones



$E_{\text{sum}} = 3/2 * E_1 + 0.092 \text{ MeV}$



Estudio de los Canales individuales de decay



Proyectos en Curso

➤ Estudios de desintegración beta / haces de energía baja

ISOLDE and JYFL: Mecanismo de emisión de multipartículas: ^8B , ^{35}Ca

➤ Estudio de Reacciones:

➤ Estudio de reacciones directas de interés astrofísico
CMAM (UAM, Madrid), Tandatron 5MV

➤ Energías próximas a la barrera Coulombiana:

propiedades de núcleos con halo

✓ **REX-ISOLDE:** Estudio de los núcleos resonantes ^7He & ^{10}Li

Presencia de dipolarizabilidad eléctrica en núcleos con halo:

^6He (Louvain-la-Neuve) & ^{11}Li (TRIUMF) & ^{11}Be (REX-ISOLDE)

➤ **Haces relativistas:** Identificación y propiedades de núcleos con halo

GSI (FRS, LAND) / GANIL

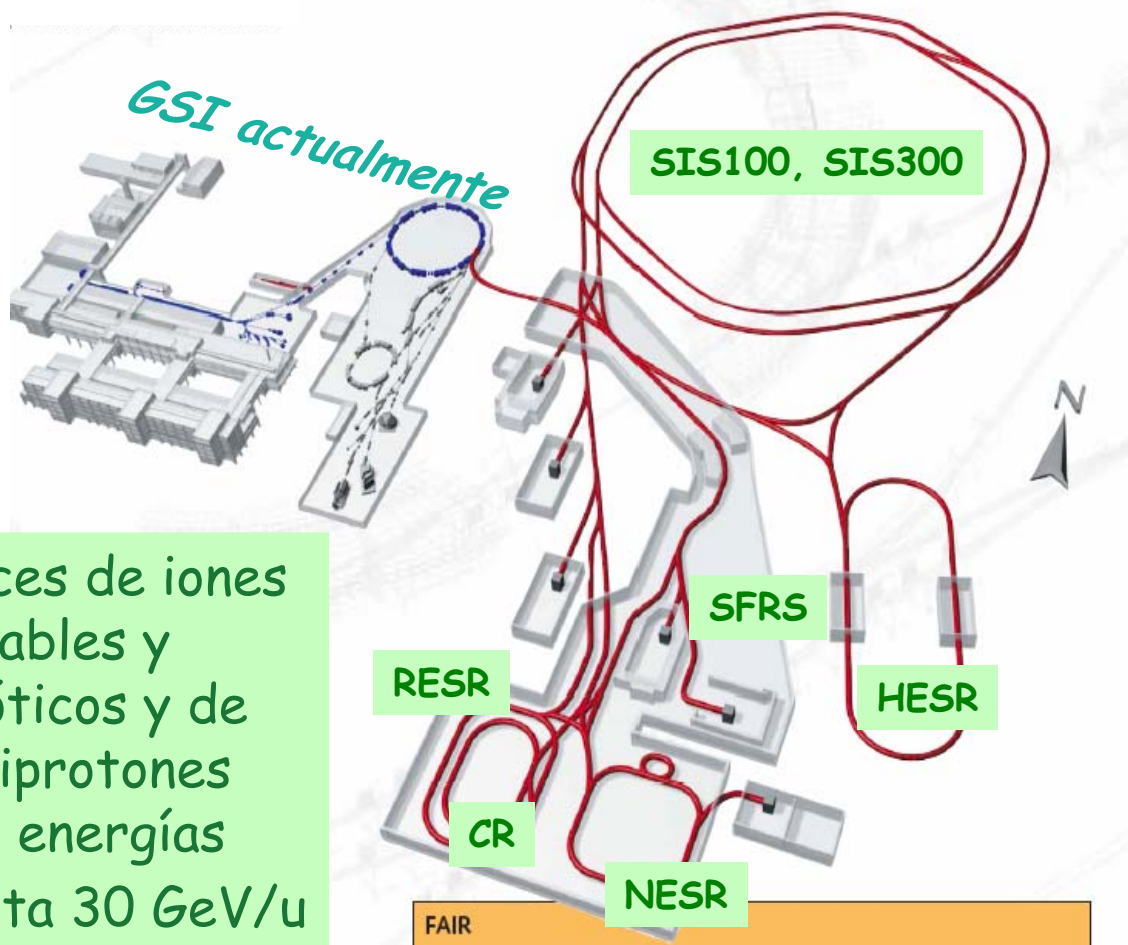


Developments for calorimeter of R3B@FAIR

- Calorimeter for proton & gamma detection → Phoswich
- Electronic readout

FAIR: Facility for Antiproton and Ion Research

España es miembro de FAIR desde 7 nov 2007



Haces de iones
estables y
exóticos y de
antiprotones
con energías
hasta 30 GeV/u
Intensidad
1000 superior

SIS100, SIS300:

Iones estables con $Z=1-92$
y energías hasta 30 A GeV

SFRS:

Producción y separación de
núcleos exóticos

CR:

Almacenamiento y medidas de
precisión con núcleos exóticos

RESR:

Almacenamiento de anti-p y
Deceleración de núcleos exóticos

NESR:

colisiones e⁻-núcleo exótico
colisiones anti(p)-núcleo exótico
deceleración de anti(p) y nu. exót.

HESR:

colisiones anti(p)-p

Fuerza Gravitacional

**Fuerza Electromagnética
Fuerza Electro débil**

**Fuerza Débil
Modelo Estándar**

**QCD
Fuerza Fuerte**



La investigación con haces de iones y antiprotones

Interacciones ión-materia

Plasmas densos

Iones pesados \rightarrow 12 TW/g

Campos EM intensos

Núcleos al extremo

Núcleos exóticos (1 GeV/u)

Estructura de quarks y gluones de los hadrones

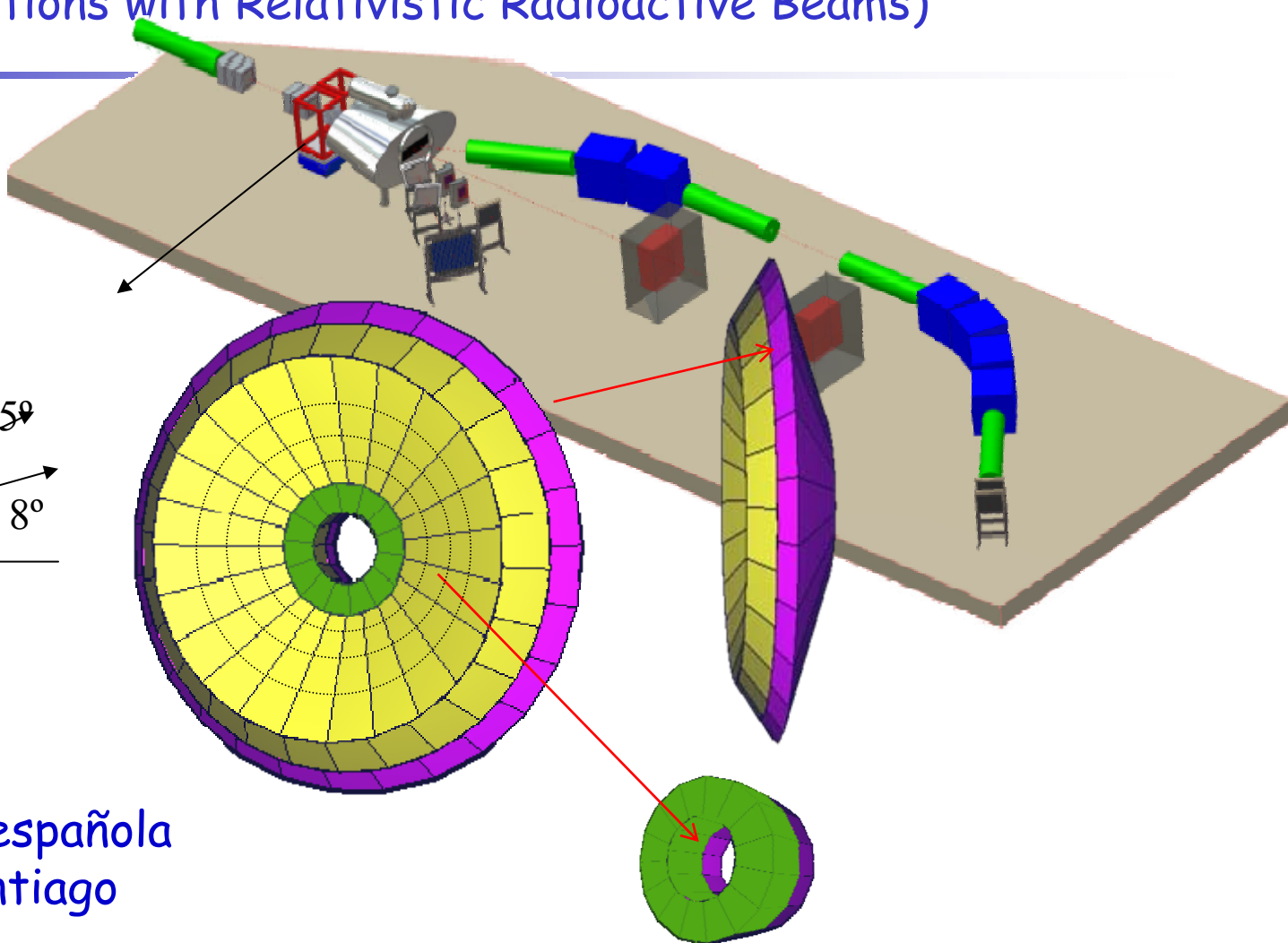
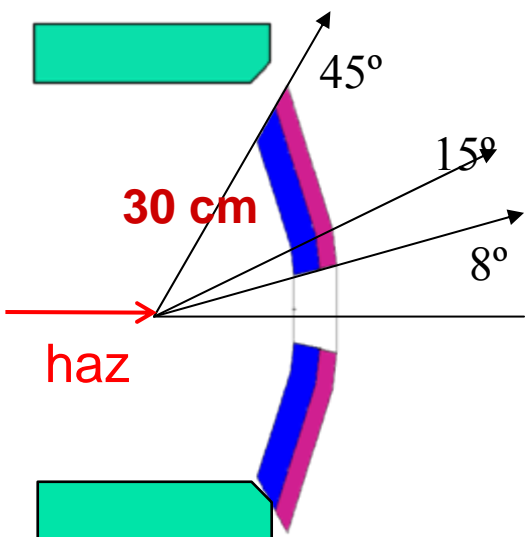
Antiprotones 0-15(30) GeV

Materia de quarks

Iones relativistas (35 GeV/u)

Participación Espectrometro Califa para R³B (Reactions with Relativistic Radioactive Beams)

Calorímetro R³B



Contribución española
 R³B: IEM, Santiago

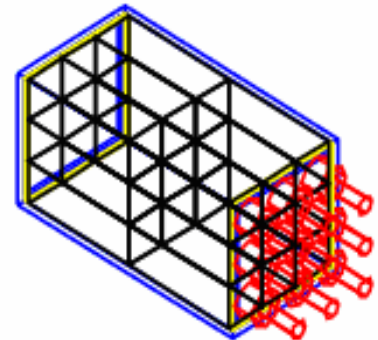
Propuesta del IEM para ángulos
 15 – 45° y 8 – 15°: Phoswich

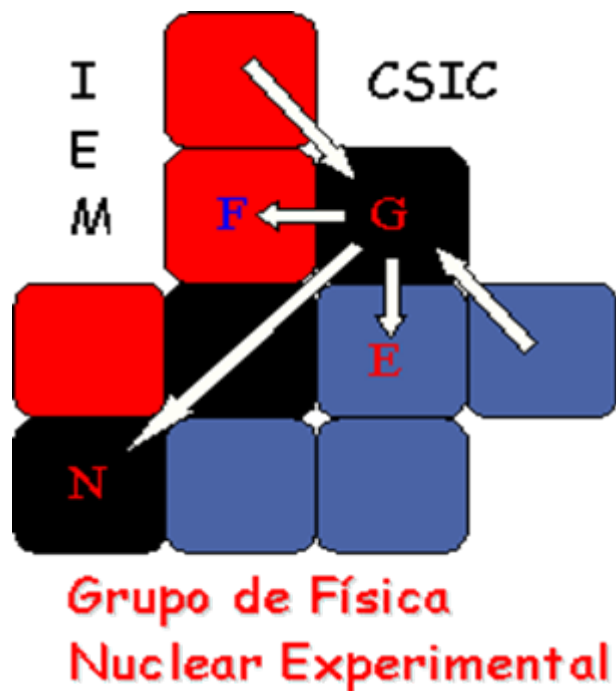
Calorímetro= cristales centelleadores
 $E_\gamma \approx 0.5-5 \text{ MeV} \Rightarrow$ (corrimiento
 Doppler "x 3") $\Leftrightarrow 1-15 \text{ MeV}$

Contribución a FAIR

Espectrómetro CALIFA (CALorimeter for In-Flight gamma detection) rodea al blanco de R^3B tiene como objetivo la detección de protones y gammas de alta energía, con énfasis en su resolución energética, y su capacidad de identificación individual.

- ❖ Simulaciones en GEANT4 indican que para caracterizar protones de alta energía es mejor usar un detector compuesto phoswich (dos cristales centelladores de distinta composición) .
- ❖ Se han comparado los programas de simulación GEANT4 con MCNP (Monte Carlo n-Particles) demostrando que dan la misma respuesta para la radiación gamma en todo el rango de energía.
- ❖ I+D en electrónica Digital





<http://www.iem.csic.es/nucexp>

• Investigadores Pantilla:

M^a José G^a Borge

Olof Tengblad

Andrea Jungclaus (junio 2008)

• Doctores:

Daniel Galaviz

Arantxa Maira

Manoli Turrión

• Doctorandos:

Martín Alcorta

Ricardo Dominguez

Miguel Madurga

Mario Cubero

Técnico:

Angel Perea