

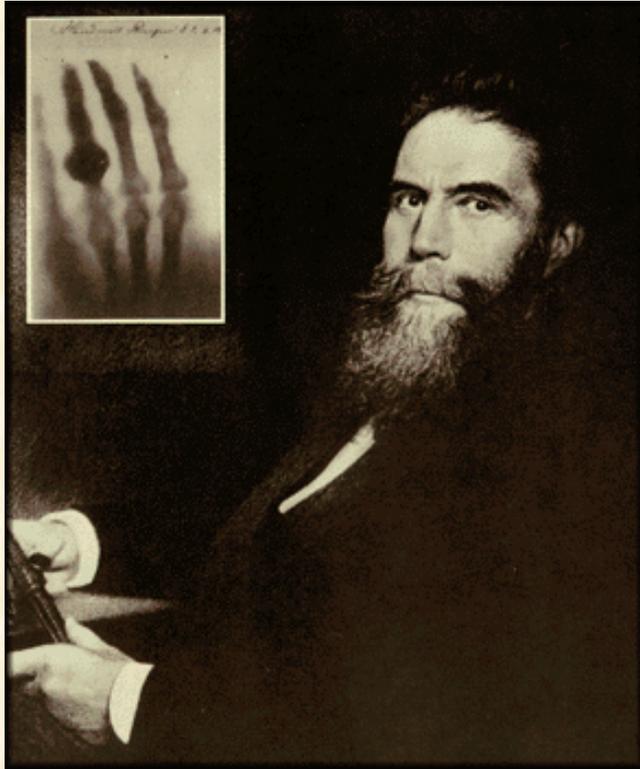
El núcleo:

Un Viaje al Centro de la Materia

- Descubrimiento del Mundo Subatómico
- Temas actuales de Estructura Nuclear
- Aplicaciones

M^a José García Borge

Insto. Estructura de la Materia, CSIC

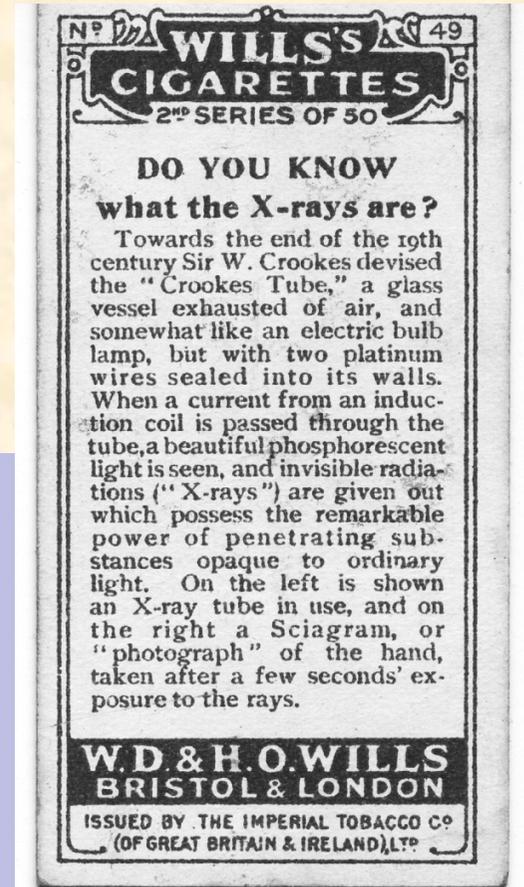
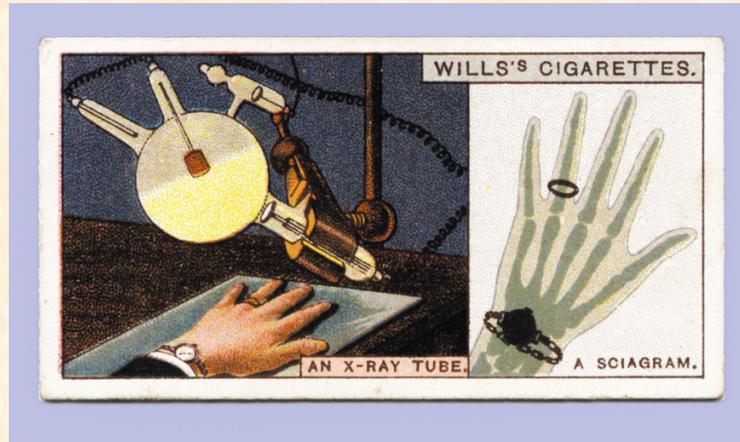


**Wilhelm Röntgen
(1845-1923)**

Premio Nobel 1901

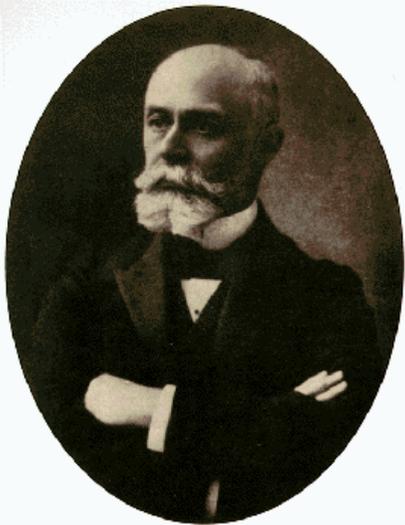
1895

Estudio de las propiedades de un gas enrarecido al pasar la corriente....



El descubrimiento de los rayos-X despertó gran interés tanto en la comunidad científica como en el público general.

Descubrimiento de la radioactividad natural



Henry Becquerel Premio Nobel 1903

"in recognition of the extraordinary services he has rendered by his discovery of spontaneous radioactivity"

1896, Sales de uranio → radiación penetrante :

➤ Independiente del compuesto químico

➤ En ausencia de descargas

Obtuvieron las mismas propiedades en sales de torio

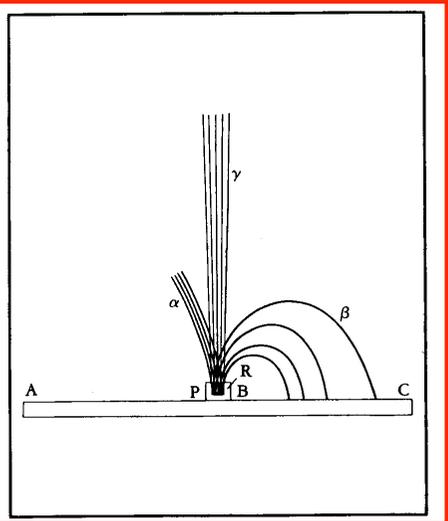
➤ Hipótesis: Radiación propiedad atómica, Radiactividad

➤ En bismuto descubrió un elemento más activo: Polonio. En fragmento de Ba encontró Radio

➤ Uso del electrómetro de Curie para identificación química



Maria Sklodowska

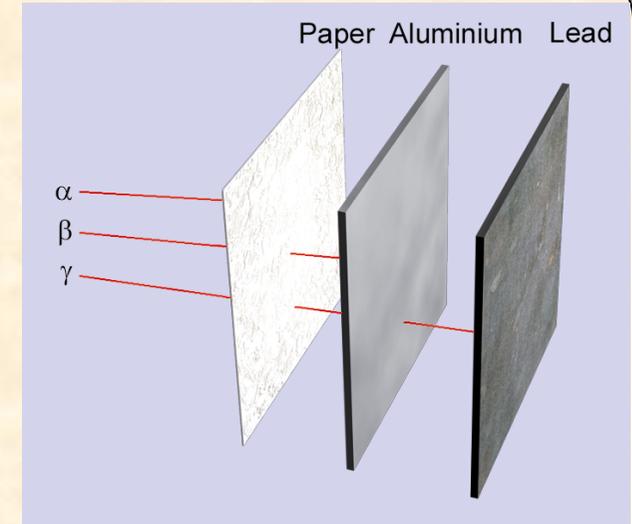


Pierre Curie



J. Rutherford

..y **Rutherford** fue a Cambridge para trabajar con Thomson en propiedades de los rayos X. Interesado por los rayos de Becquerel descubrió que los había de 3 tipos: α , β , γ



Ley de la desintegración exponencial

"No importa que cantidad tengamos de material radioactivo al cabo de un tiempo conocido como semiperiodo ($T_{1/2}$), la mitad del material radioactivo habrá desaparecido (tras $2T_{1/2}$ quedará $\frac{1}{4}$)"

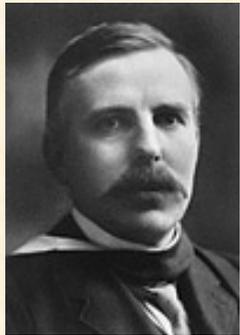
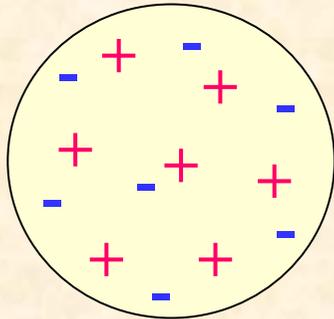
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Transmutación

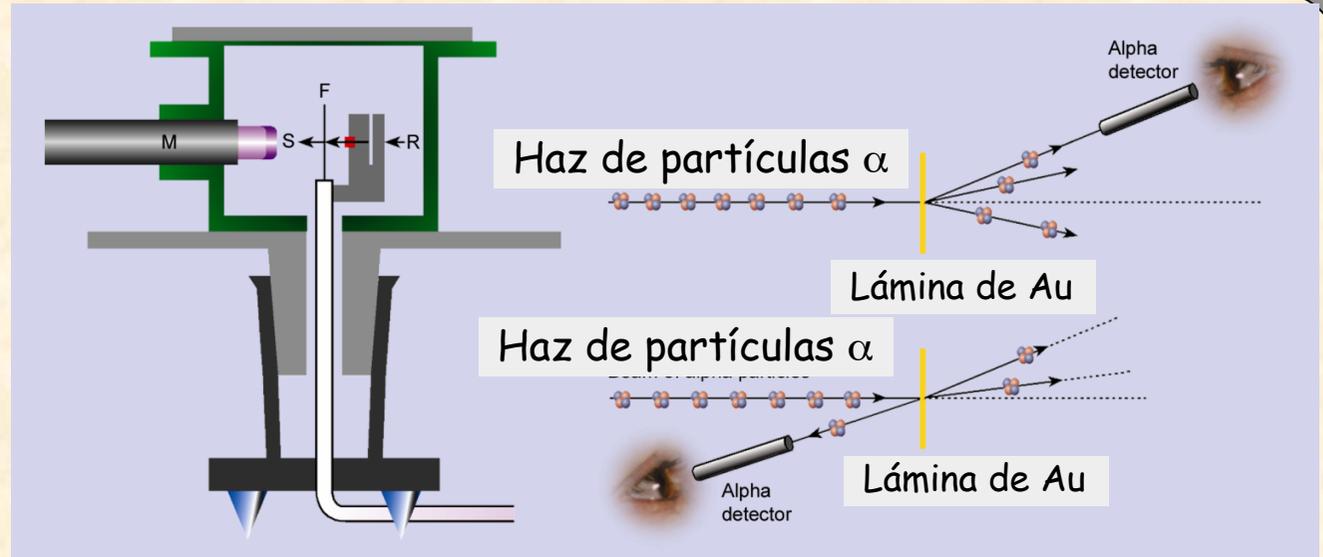
..y **Rutherford** fue a McGill a trabajar con Soddy y descubrieron que **la radioactividad transforma unos elementos en otros (P. Nobel 1908)**

"No lo llames Transmutación, Soddy, o querrán nuestras cabezas.."

Modelo de Thomson "plumb pudding"



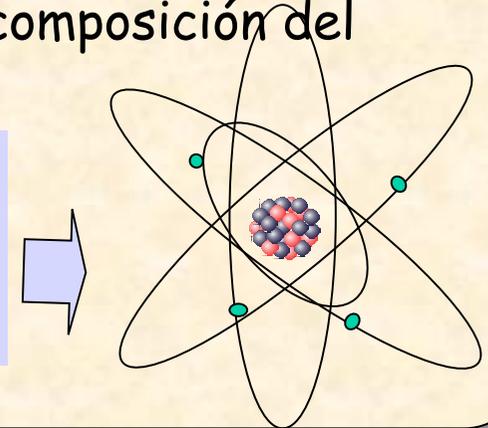
Rutherford



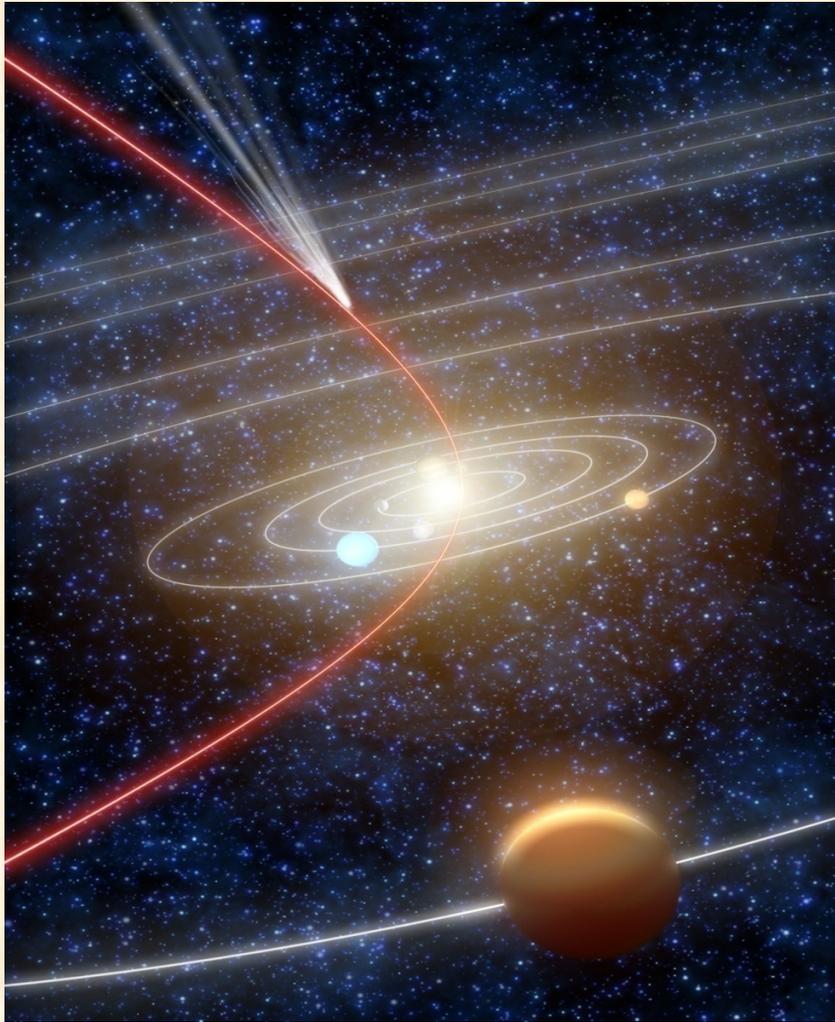
1907, Manchester (UK)

Estudió la dispersión de partículas α en láminas de mica, Au... Descubrimiento de la composición del átomo 1910

Geiger y Marsden observaron
Retrodispersión 1 de cada 20000



E. Rutherford, Phil. Mag. 6Th Series, 21 (1911) 669



..pero el modelo de Rutherford hacía aguas...

Si los núcleos estaban en el centro con los electrones orbitando, estos caerían al centro...

En 1913 Bohr propuso que los electrones en órbitas estables no irradiaban

Buen acuerdo con los estudios de dispersión

1919, Primera Reacción Observada $^{14}\text{N} (\alpha, p)^{12}\text{C}$

¿Cuáles son los constituyentes del núcleo?

➤ El núcleo es un sistema cuántico \Rightarrow No sabemos cuándo se va a desintegrar

➤ Debe cumplir el Principio de Incertidumbre ($\Delta x \cdot \Delta p > h$)

➤ La radioactividad nos dice que los núcleos emiten α , β , γ .

- ¿Está el núcleo formado por α , β ? Pero $M_H < M_\alpha$

- ¿Cómo consigue un átomo de N de masa 14 ser neutro con 14 protones y 7 electrones?

Un texto de 1920 explicaría que tendría además 7 electrones en el núcleo. \Rightarrow pero los electrones confinados violarían el Principio de Incertidumbre.

Rutherford propuso la existencia de una partícula neutra

En **1930** se descubrió que al enviar partículas α sobre ${}^9\text{Be}$ se emitía una radiación muy penetrante de tipo neutro.

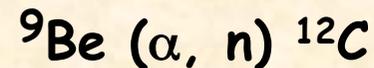
Los Joliot-Curie observaron que tal radiación al atravesar la parafina, rica en H, producía protones de energía medible.



James Chadwick
P Nobel 1935

Chadwick en 1932 observó esta misma radiación en otros elementos: **He, Li, C, N, Ar**

➤ Utilizando la hipótesis de Rutherford de existencia de una partícula neutra en el núcleo, calculó el proceso de dispersión con ¿**neutrones**? ⇒ ¡ Buen Acuerdo !

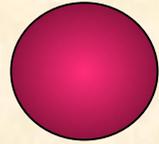
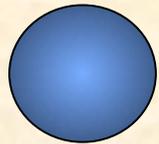


➤ Diferencia de masas ⇒ **masa de neutrón**

Estructura de los núcleos



Heisenberg propuso que los nucleones (protones y neutrones) están unidos entre sí por una fuerza fuerte. ¿Y los electrones? ¿de dónde vienen?



Neutrón

Protón

$T_{1/2} = 14 \text{ min}$ $T_{1/2} > 10^{33} \text{ y}$

$$m_p = 1.6727 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_n = 1.6750 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\Delta m / m_n = 0.137 \%$$



Yukawa

P. Nobel
1949

Fuerza Fuerte

➤ Una fuerza atractiva entre nucleones unidos en el núcleo mediante intercambio de una partícula: **el pión**

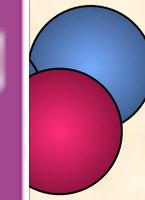
➤ **Fuerza Débil (Pauli & Fermi) 1930 & 1934**

➤ Responsable desintegración beta (e, ν)

➤ Creación de partículas

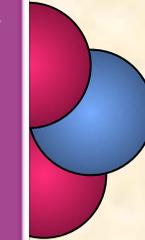


ente por



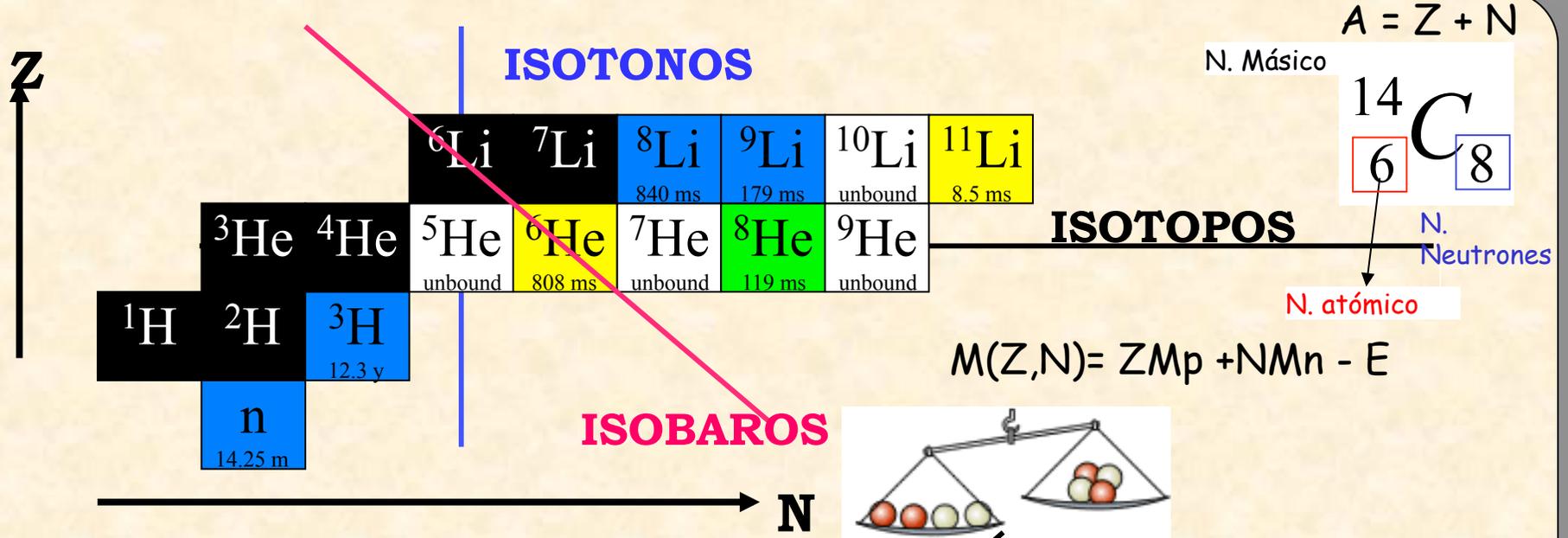
^3H

= 12,3 y

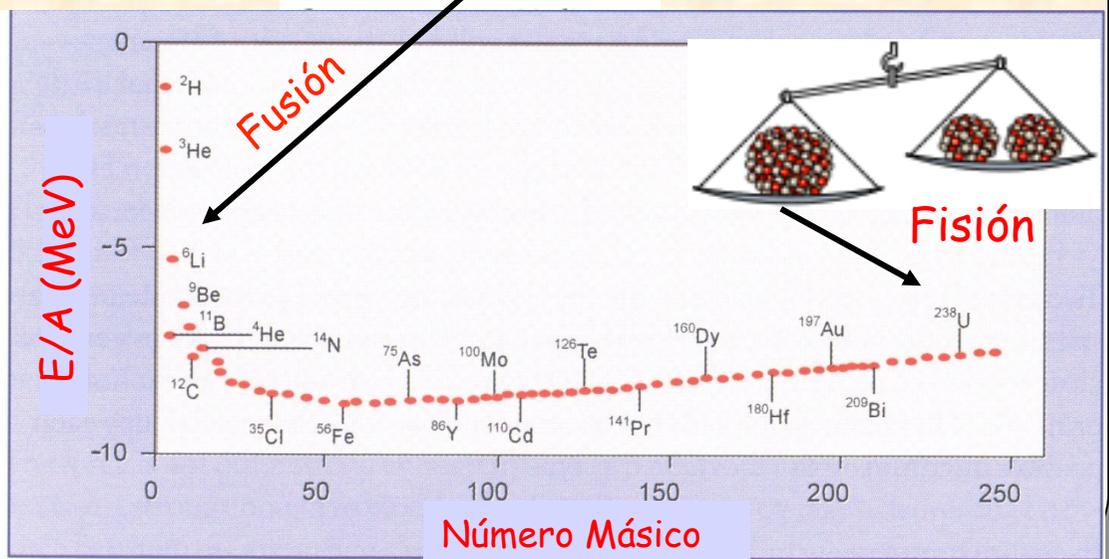
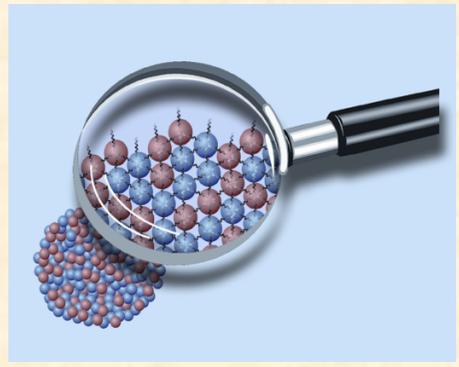


He

Núcleos



Igual densidad (= M/V)
 $r = r_0 A^{1/3}$, $r_0 \approx 1.2 \text{ fm}$



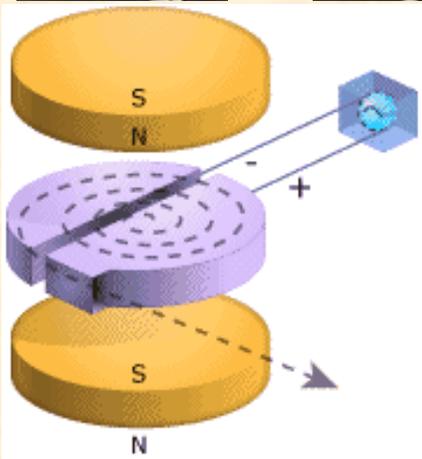
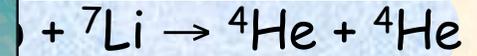
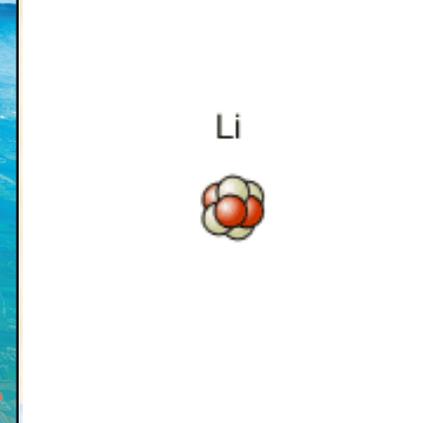
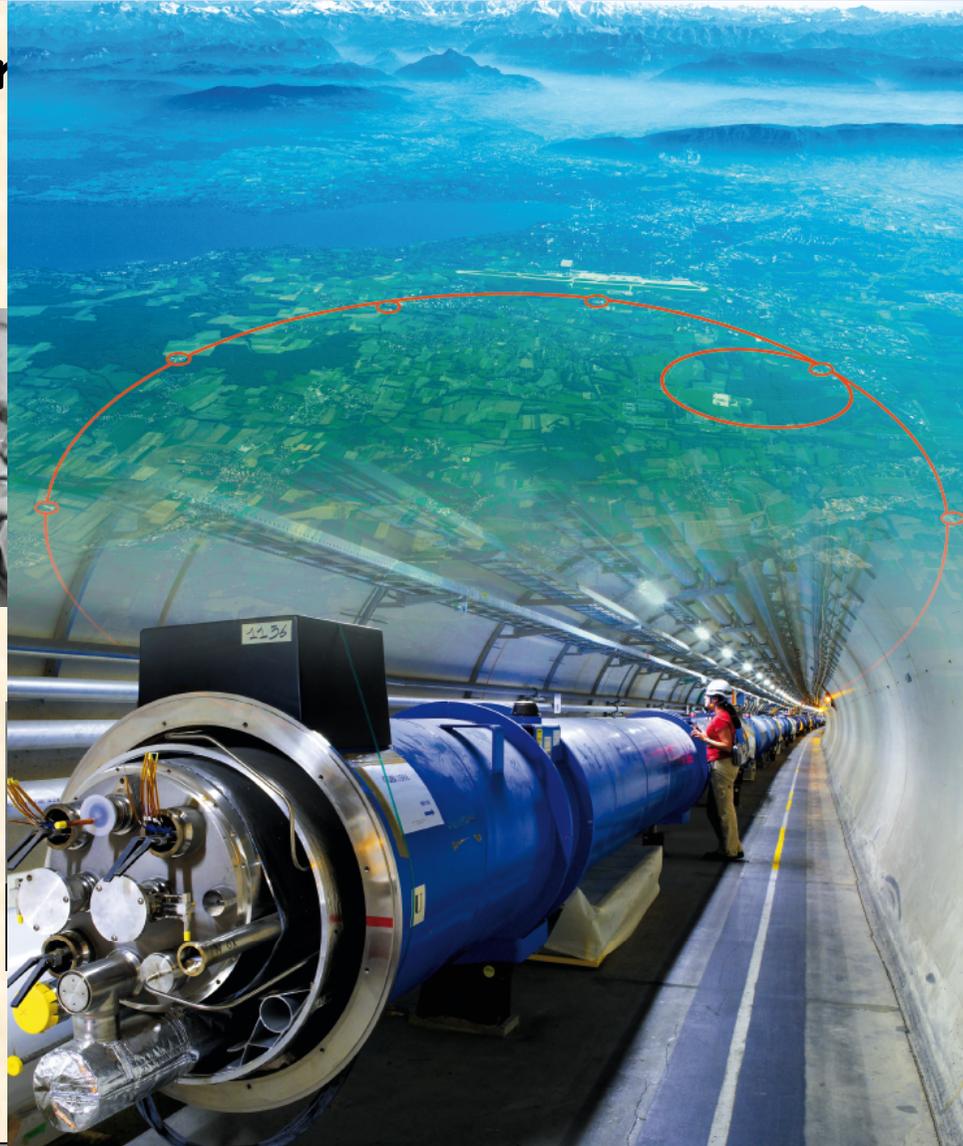
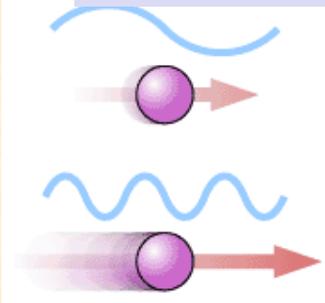


LHC /27 km, 1232 imanes superconductoros. Protones hasta 7 TeV

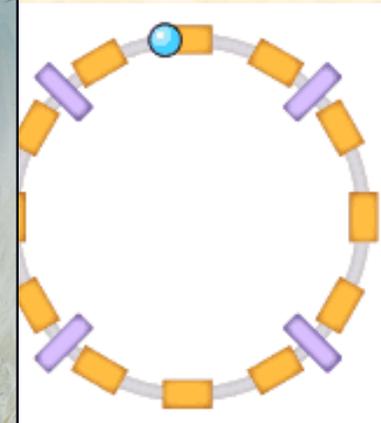


Comenzó hace menos de un año

932 Primera Reacción
con protones



Ciclotrón



Sincrotrón

Producción de núcleos exóticos

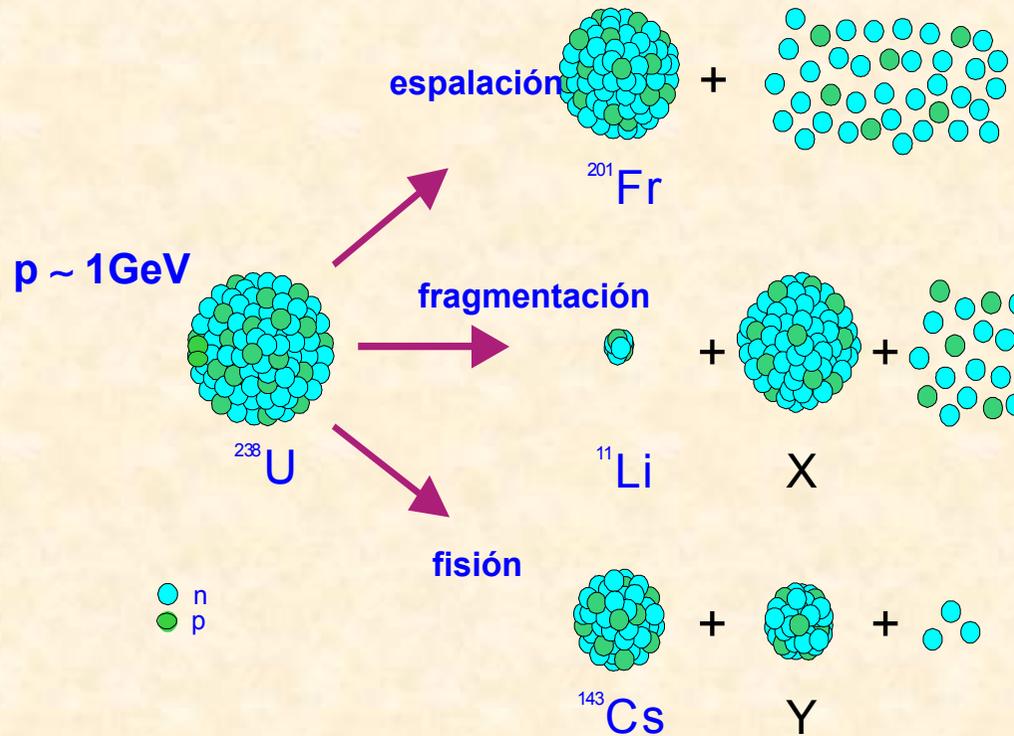
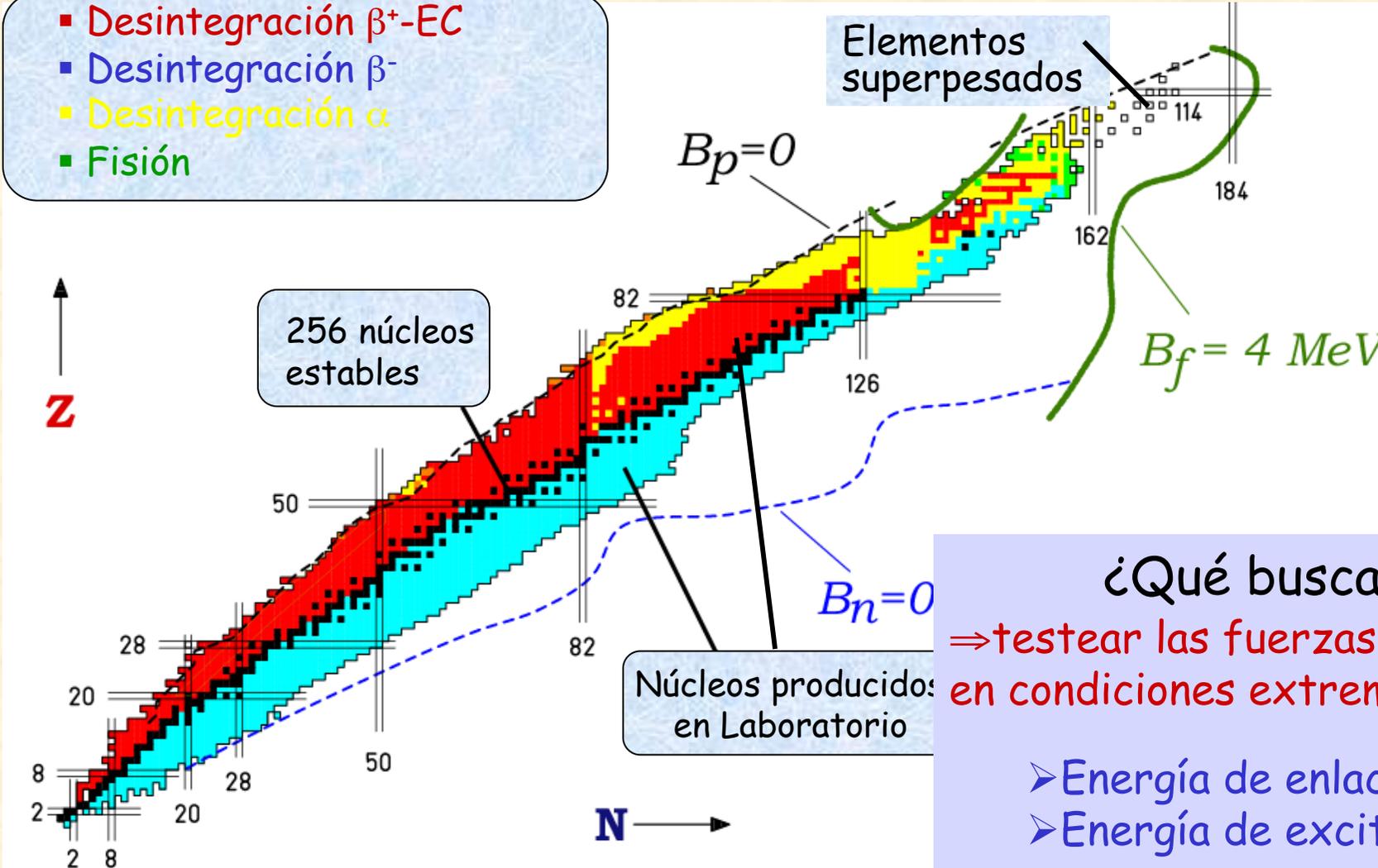


Tabla de núclidos / Paisaje Nuclear

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

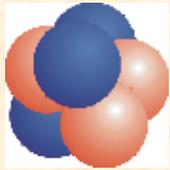


¿Qué buscamos?

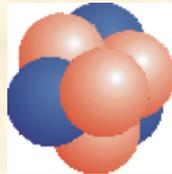
⇒ testear las fuerzas nucleares en condiciones extremas

- Energía de enlace \Leftrightarrow límite
- Energía de excitación
- Cómo estructuras simples resultan de un sistema complejo?

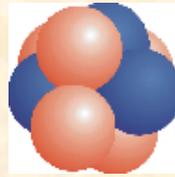
¿Qué ocurre en el límite de estabilidad neutrónica?



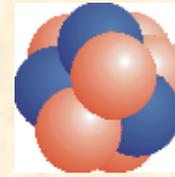
⁶Li



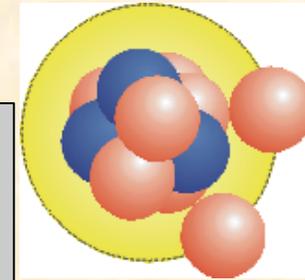
⁷Li



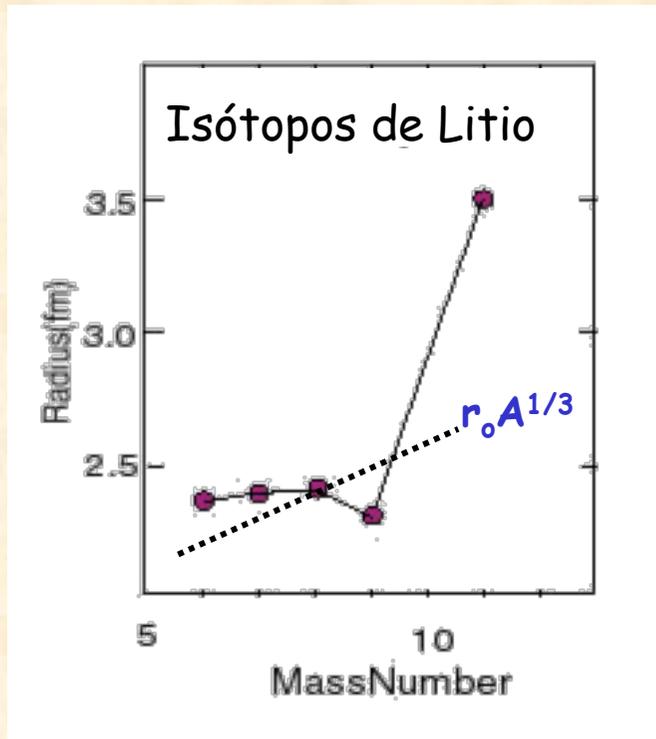
⁸Li



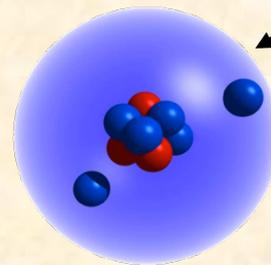
⁹Li



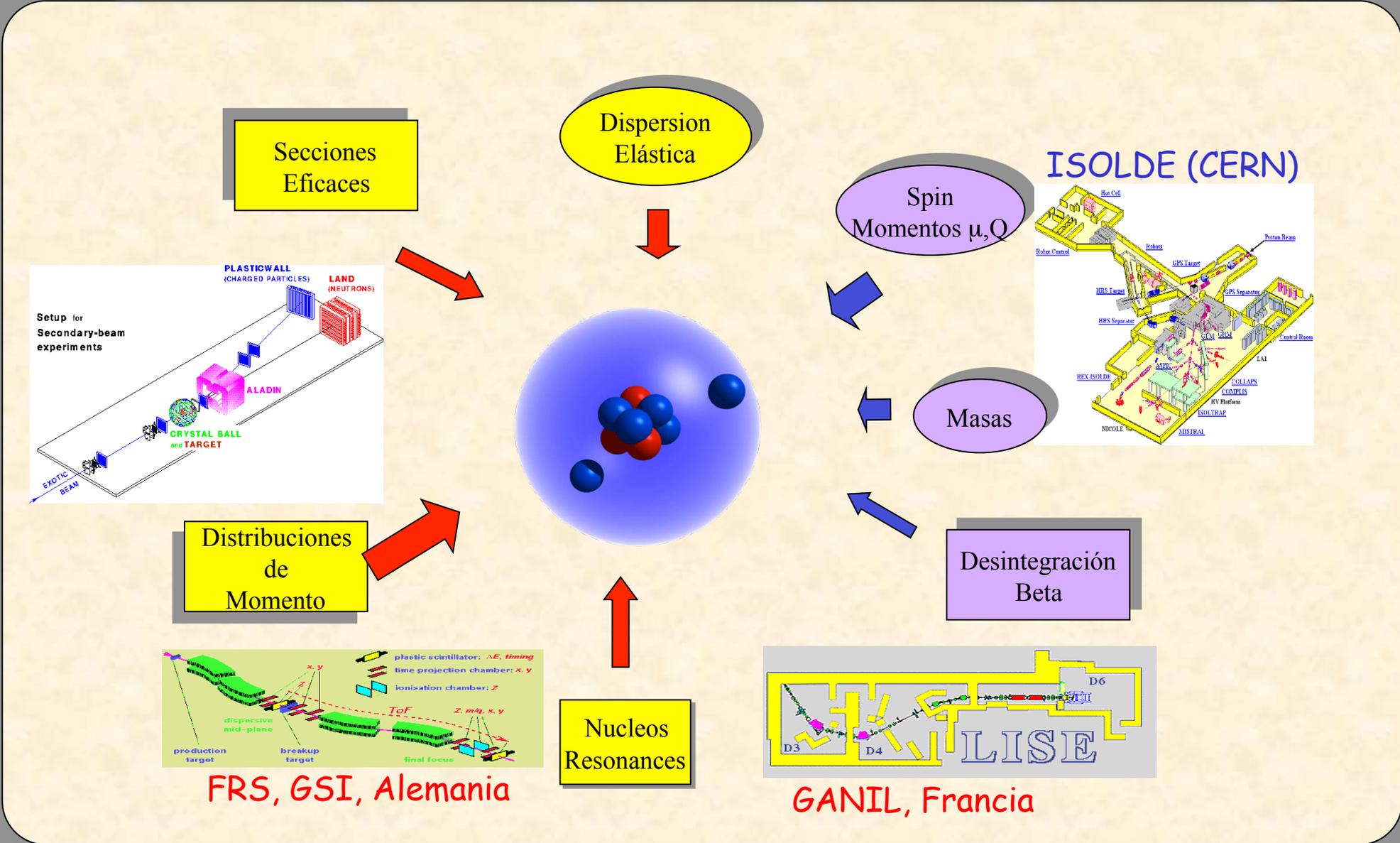
¹¹Li



- Efecto observado en reacciones
- Energía de enlace mínima
- Radios cuadráticos medios
- Equivalentes: ¹¹Li y ⁴⁸Ca



¿Cómo obtener la información completa ?



Explorando los límites: límite protónico

1914 Marsden $^{14}\text{N} (\alpha, p)^{12}\text{C}$

Observado en 1981 en GSI

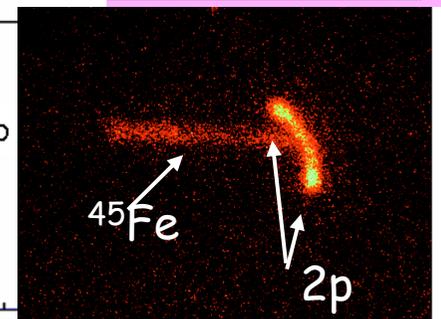
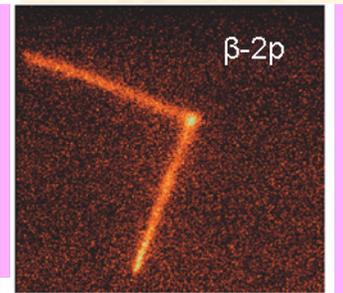
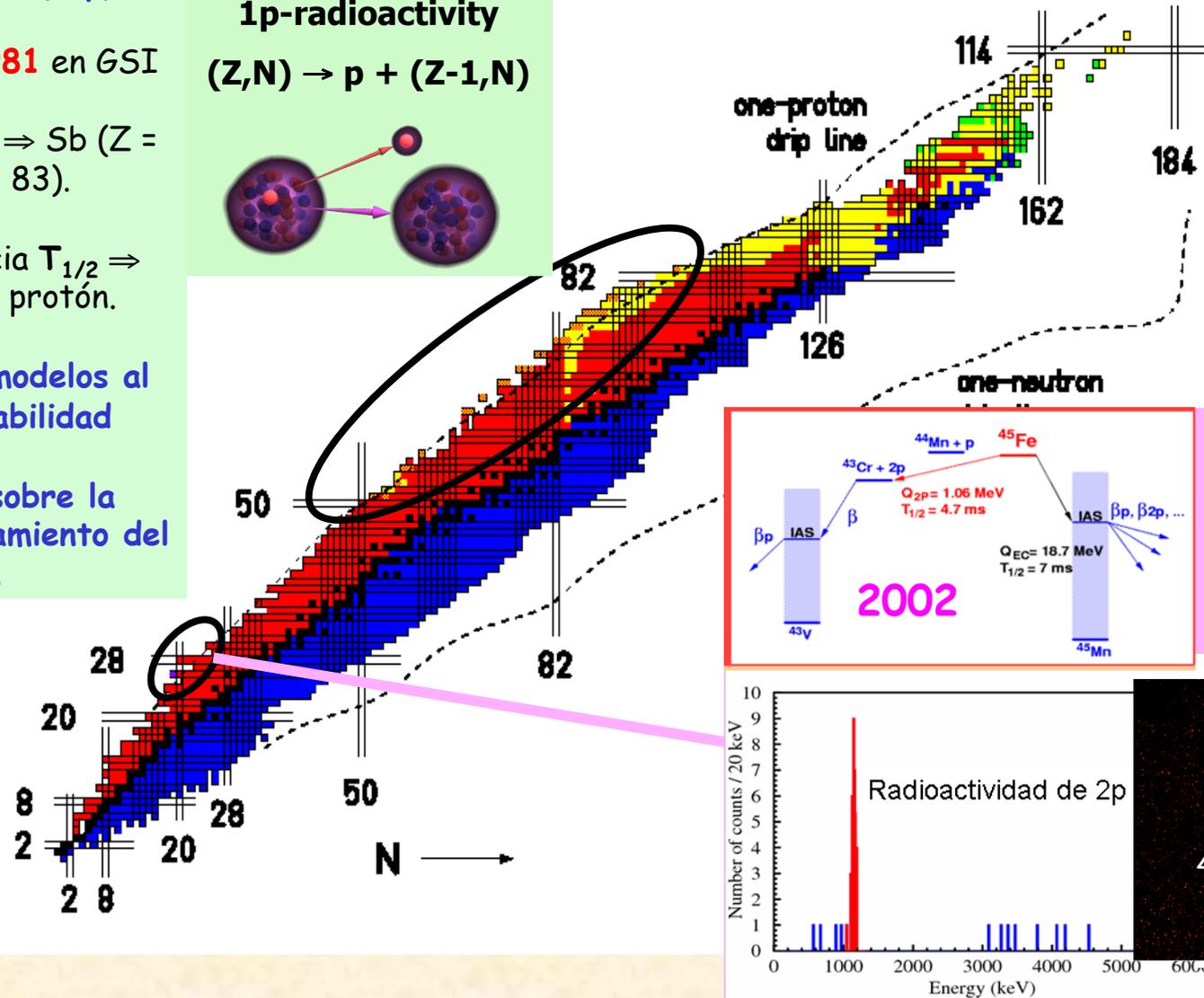
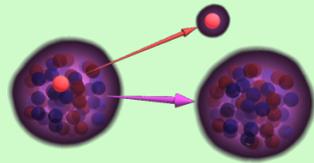
Núcleos Z-impar \Rightarrow Sb (Z = 51) - Bi (Z = 83).

Gran dependencia $T_{1/2} \Rightarrow$ momento l del protón.

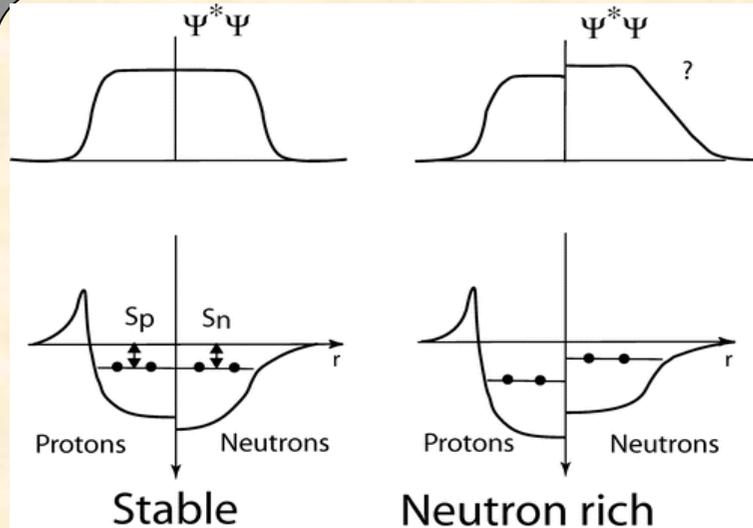
Validez de los modelos al límite de estabilidad

Información sobre la fuerza de apareamiento del protón

1p-radioactivity
 $(Z, N) \rightarrow p + (Z-1, N)$



La caída de los Números Mágicos



M. Goeppert-Mayer & Jensen inventaron hace más de 50 años un modelo de capas que explica el aumento de estabilidad de los núcleos cuando su número de protones y/o neutrones es igual a:
2, 8, 20, 28, 50, 82;

Núcleo doblemente mágico tiene unas propiedades de estabilidad extraordinarias: ${}^4\text{He}$, ${}^{16}\text{O}$, ${}^{40}\text{Ca}$, ${}^{208}\text{Pb}$

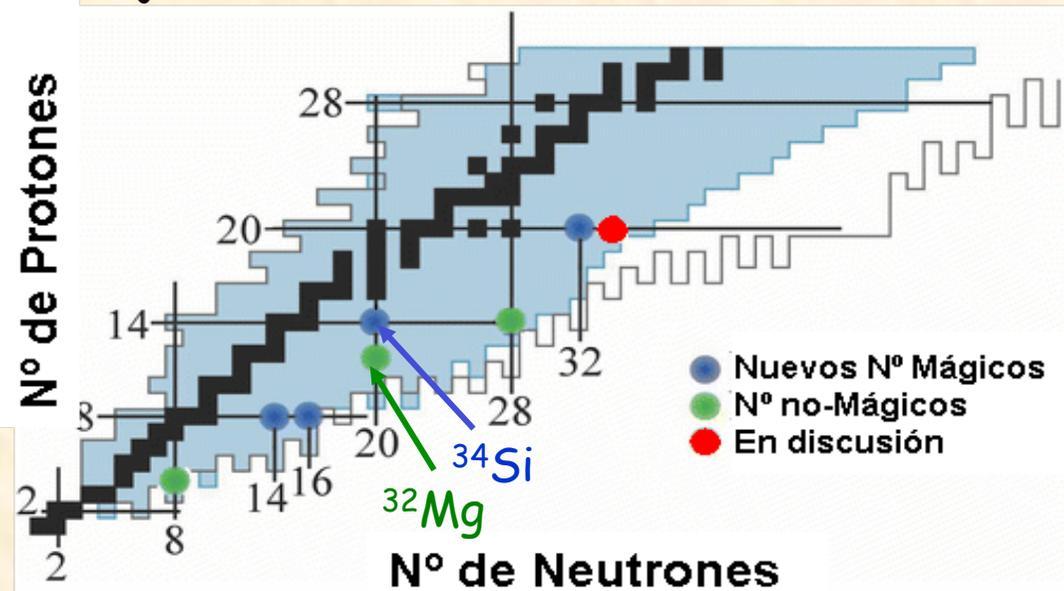
⇒ Lejos de la estabilidad la situación cambia.

AR Geesaman DF, et al. 2006.
Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 56:53–92

Experimentalmente:

Medida de $B(E2)$

Energía del primer estado excitado



¿Cuál es el final de la tabla Periódica?

⇒ información única sobre la interacción Nuclear.

Las teorías predicen una isla de estabilidad alrededor de $Z=120$

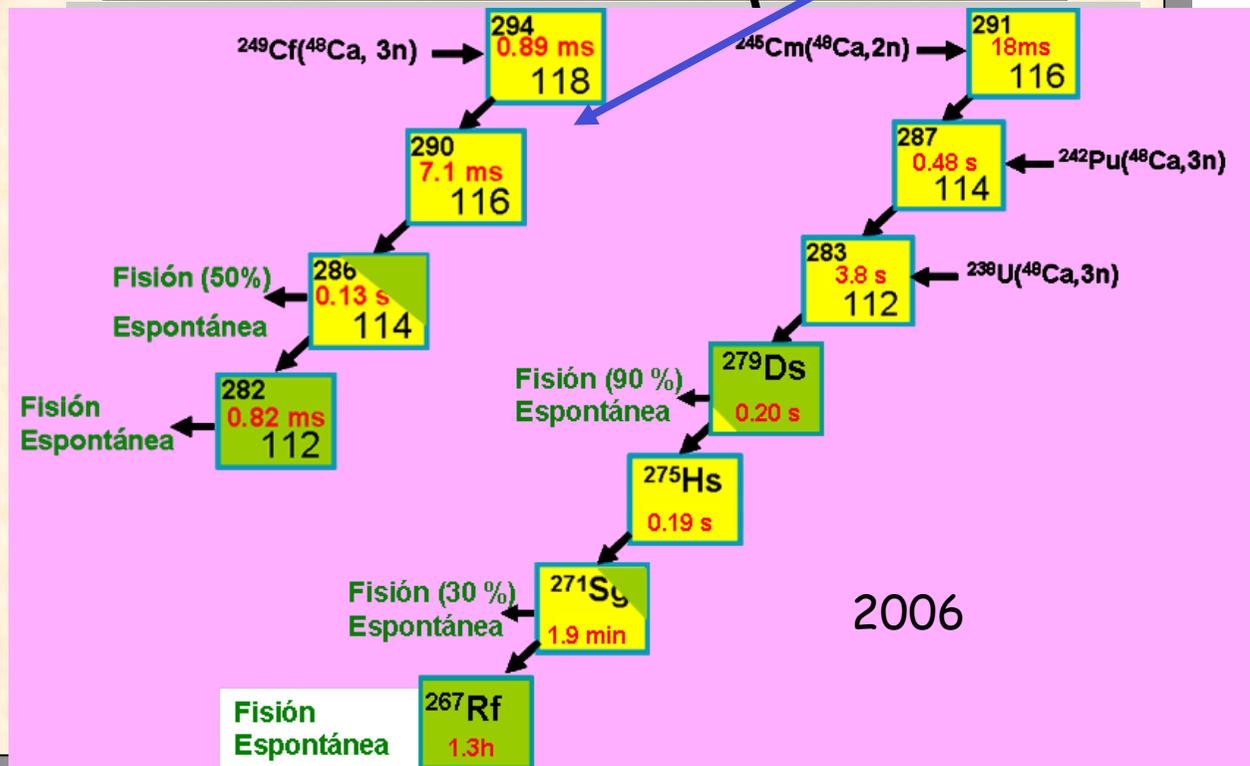
Fusión fría con haces y blancos estables.

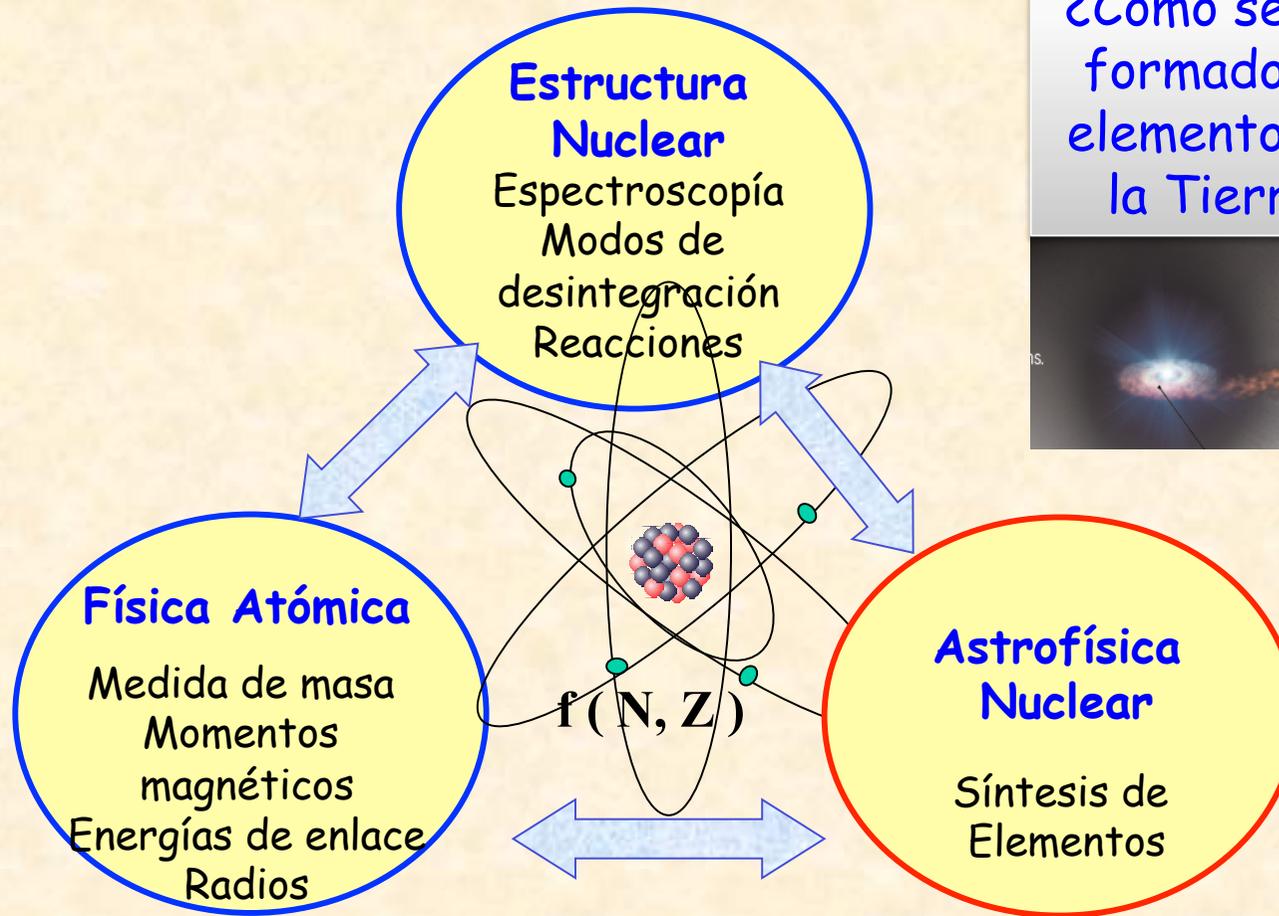
➤ Realizada hasta $Z=112$ ($A=279$) en GSI

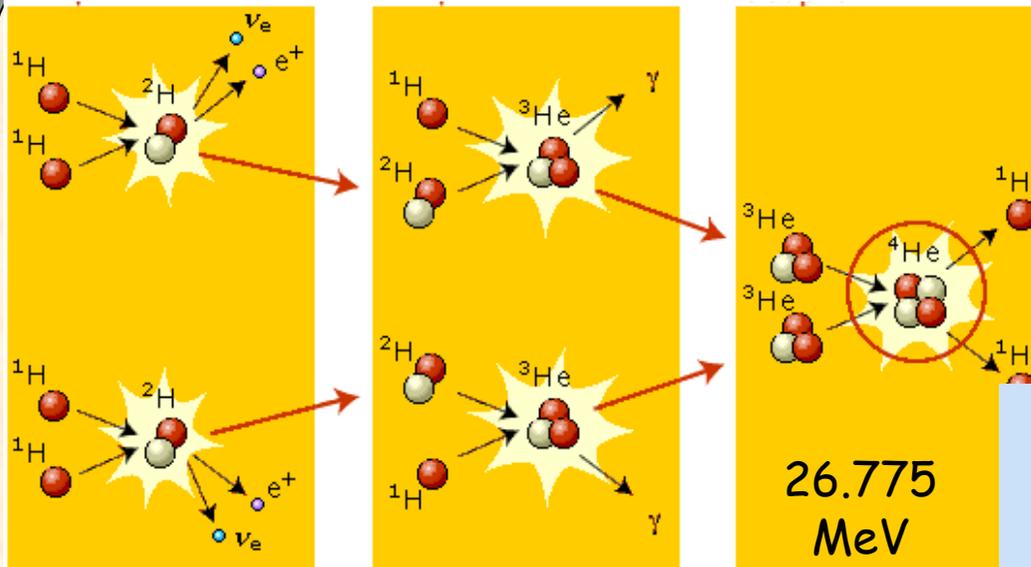
Fusión con haces estables y blancos radiactivos

➤ En Dubna (Rusia) se han sintetizado $Z=113 - 116$ y 118 ($A=294$).

La Química de $Z=114$.

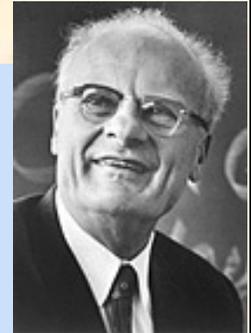






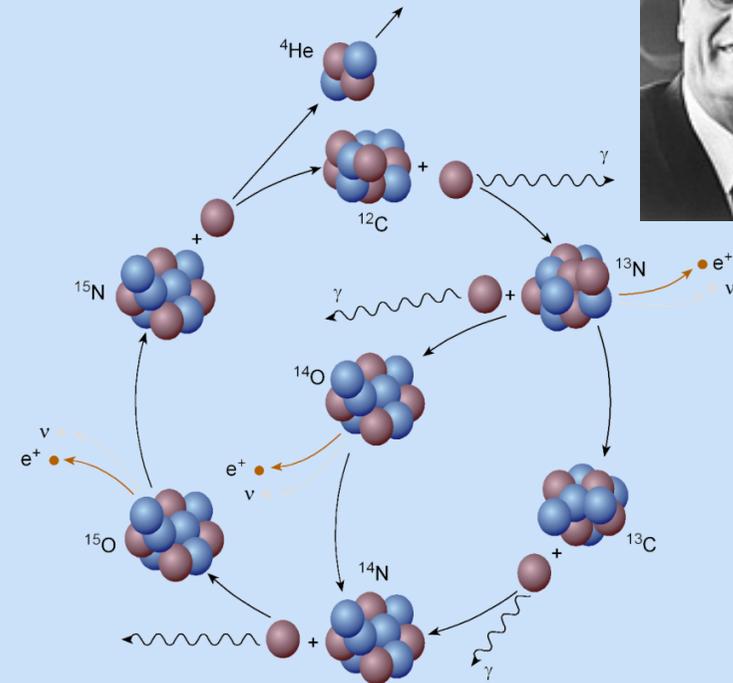
Temperatura en el Sol $15 \times 10^6 \text{ C}$

Gas de protones suficientemente caliente para producir fusión de protones: **Cadena-pp**



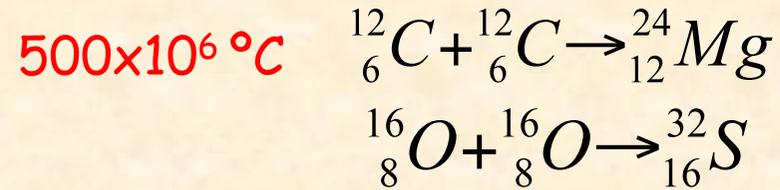
Estrellas más masivas \Rightarrow alternativa a la cadena-pp: **El ciclo de CNO** (Bethe final 30's , PN 1967).

➤ Presencia trazas C: $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}...$
¿Cómo se producen los elementos más pesados que existen en la naturaleza?

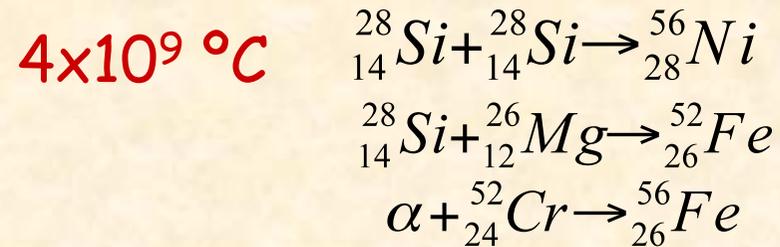


Génesis de elementos pesados

....Y todos los elementos ligeros hasta Fe y Ni se distribuyen por todo el Universo



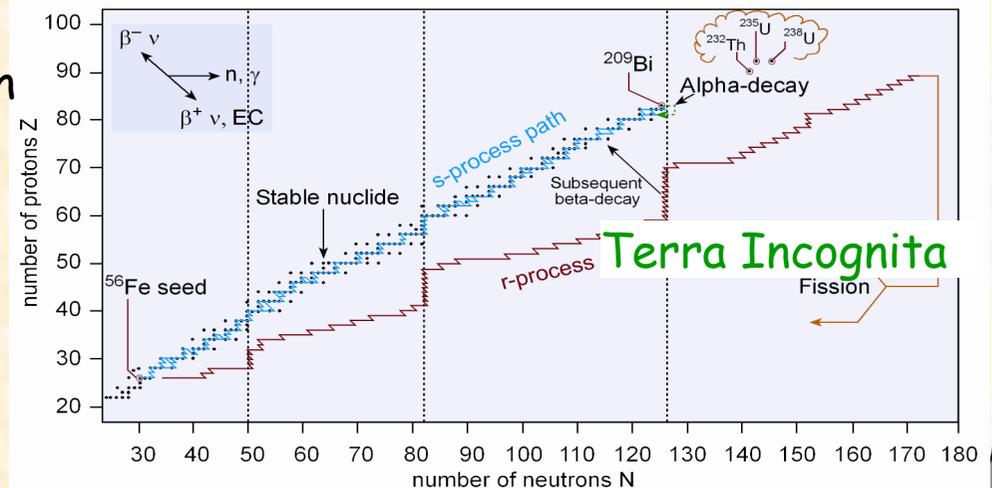
Hay tal flujo de fotones γ que sólo los núcleos más estables sobreviven.

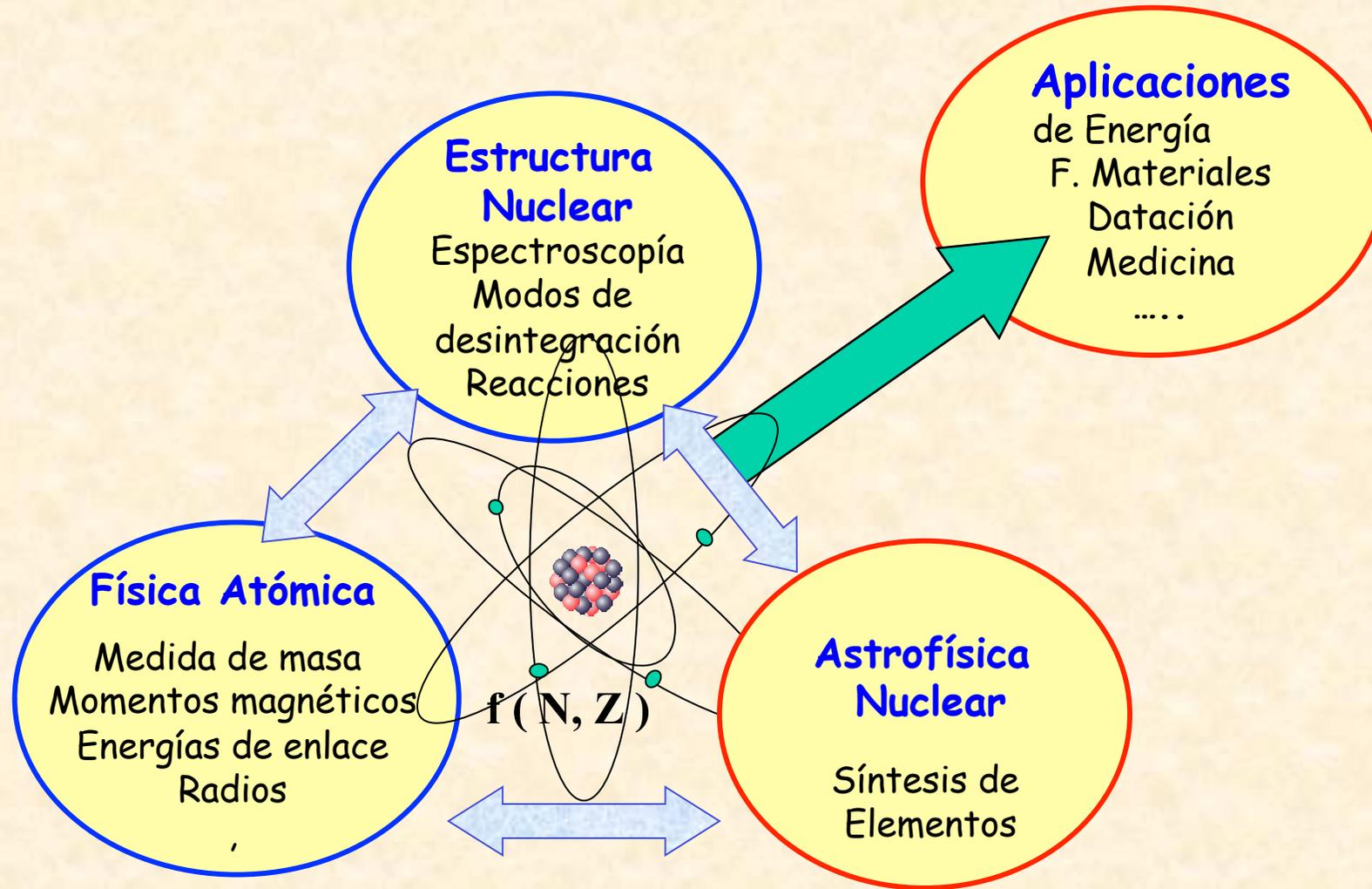


¿Y los elementos más pesados?

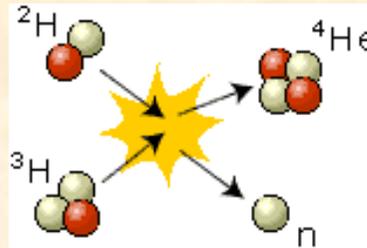
Gigantes Rojas generan gran cantidad de n \Rightarrow absorbidos por núcleos estables generan núcleos próximos hasta Pb (**s-process**).

U y Th y 1/2 estables ($Z > 28$) se producen en grandes explosiones (supernovas) que inician el proceso rápido **r-process** \Rightarrow Necesidad de producir éstos núcleos en laboratorio.





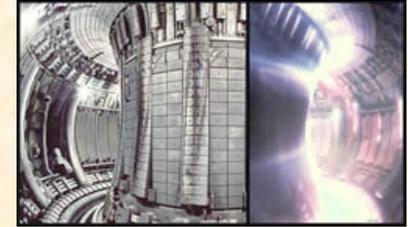
- Reacciones de fusión Futuro



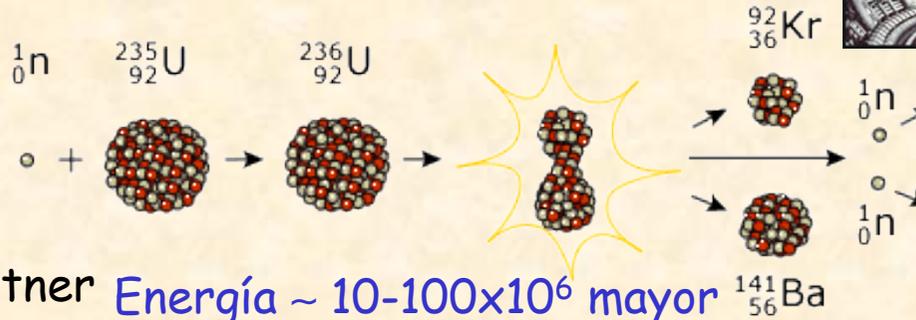
17.6 MeV \Rightarrow Energía del

JET, UK

ITER, Fr



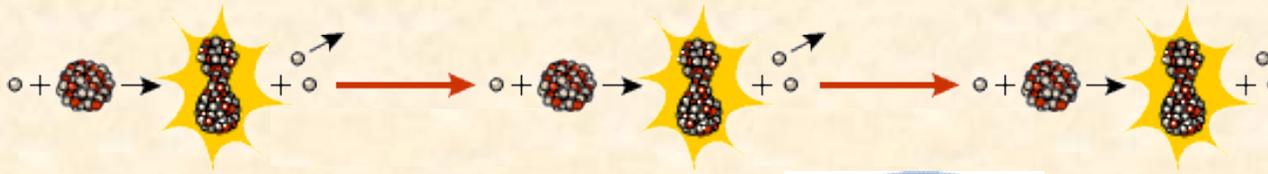
- Reacciones de fisión



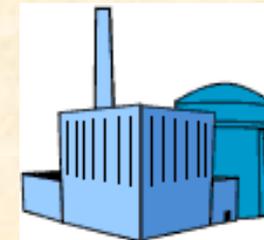
1938 , Otto Hahn & Lise Meitner

Energía $\sim 10-100 \times 10^6$ mayor que en reacciones químicas

- Reacciones en cadena / primer reactor E. Fermi 1942



- No controlada, 1945



Central Nuclear , 1954 en Obninsk, Rusia

➤ Física de Superficies

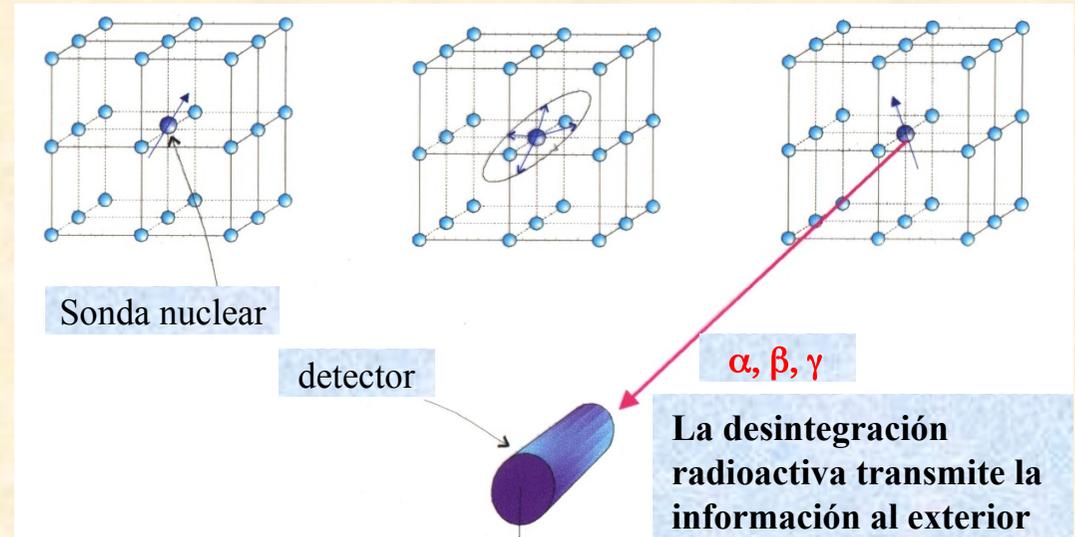
Los núcleos radioactivos se usan como "espías" (PAC) ⇒
 -semiconductores de alta tec.
 -como dopantes.

➤ Datación

- Obras de arte
- Arqueología..

➤ Ciencias de la Vida

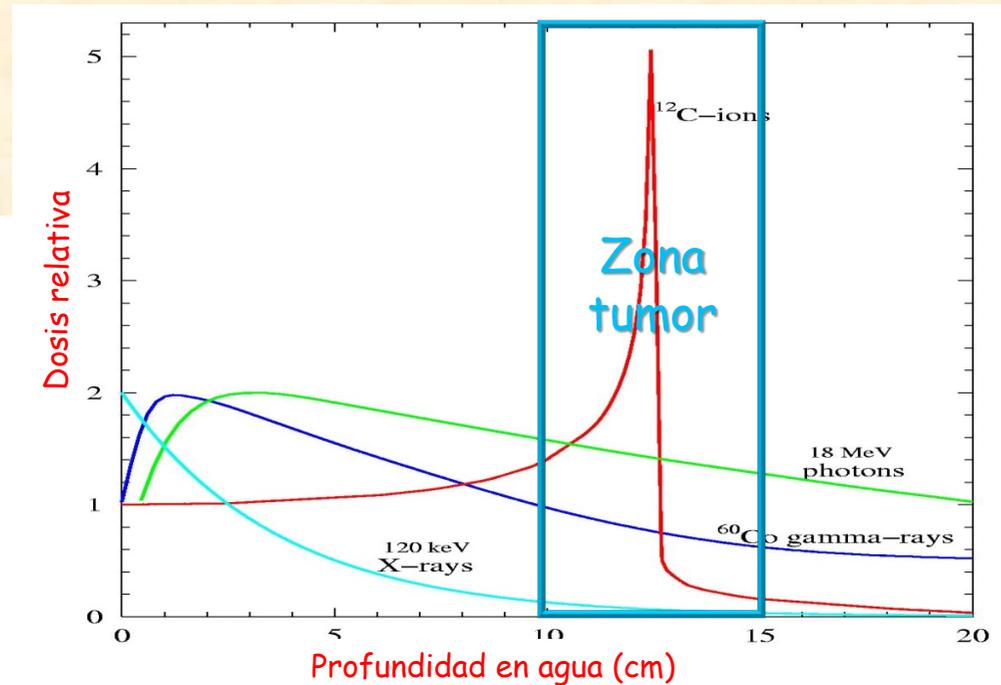
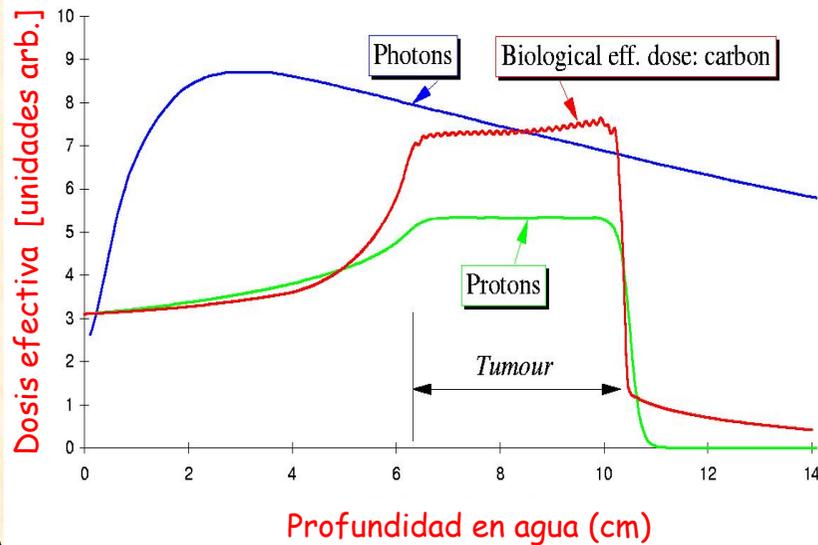
- Trazadores (1925...)
- Diagnóstico
- **Terapia**



50 pacientes tratados anualmente desde dic. 1997



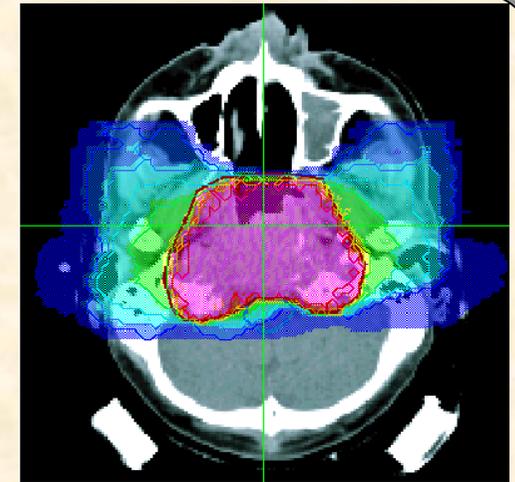
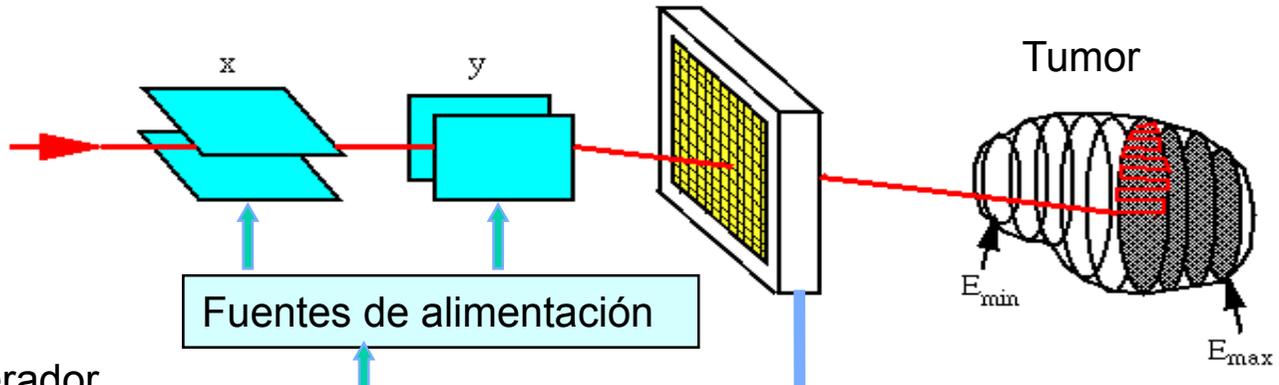
Propiedades clínicas importantes de los iones pesados



Mejora en la eficiencia biológica

¿Cómo Funciona?

Imanes de barrido rápido



Tratamiento Tumor cerebral

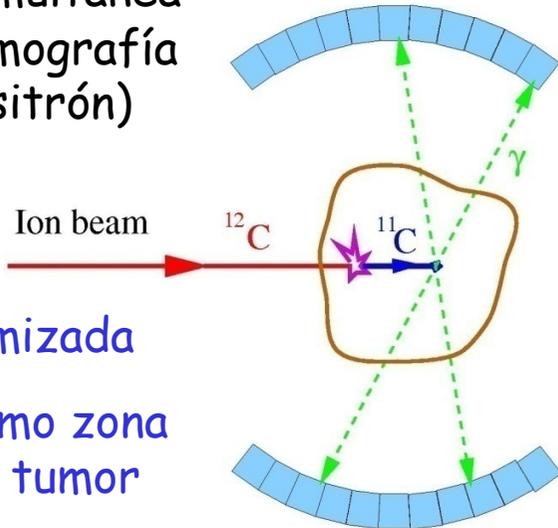
Operador

Sistema de Control de Terapia

Intensidad + posición
Retro-alimentación

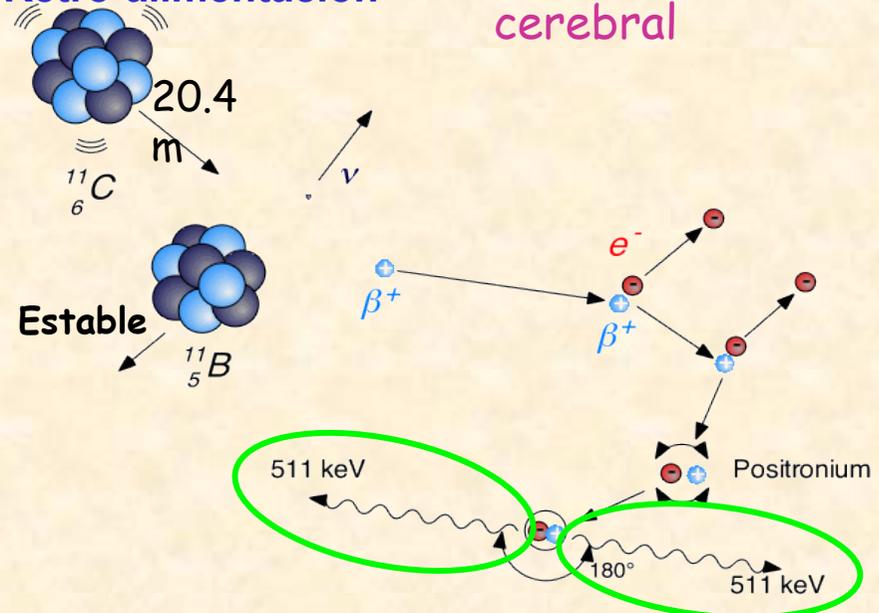
Diagnosis simultánea con PET (tomografía electrón-positrón)

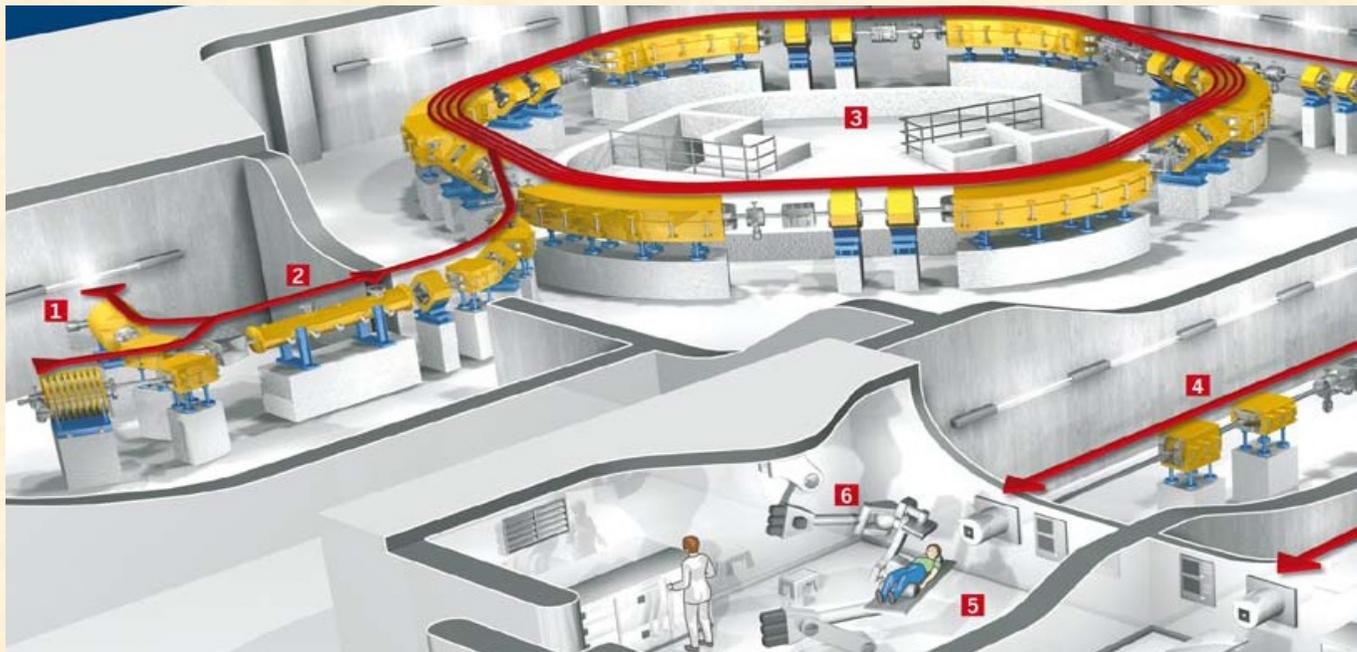
BGO-crystals



Dosis minimizada

Ajuste máximo zona irradiada a tumor





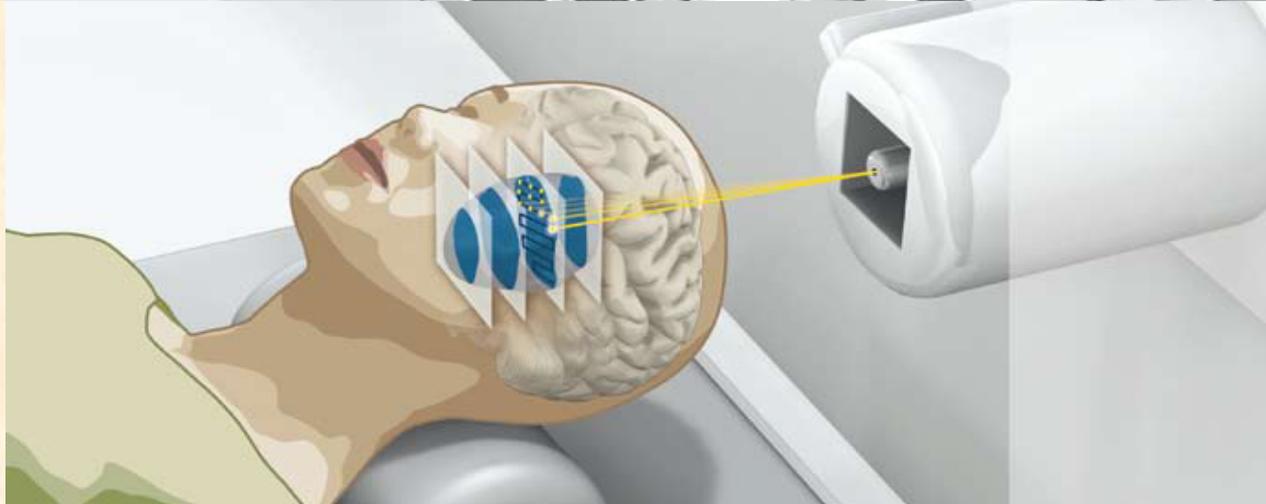
Este centro, realizará terapia con protones e iones pesados.

Tiene permiso para tratar pacientes desde 2 Nov 2009

Esperado 1300 Pacientes/año

Tratará tumores de difícil acceso hasta 30 cm.

1. Fuente de Iones de CO_2 , libera C_2 ionizado.
2. Acelerador lineal a 10 % de la velocidad de la luz, c .
3. Síncrotrón acelera iones de C_2 hasta 73 % de c .



-La Física nuclear es una ciencia joven de poco más de un siglo.
Se conoce bien el comportamiento de los núcleos estables.

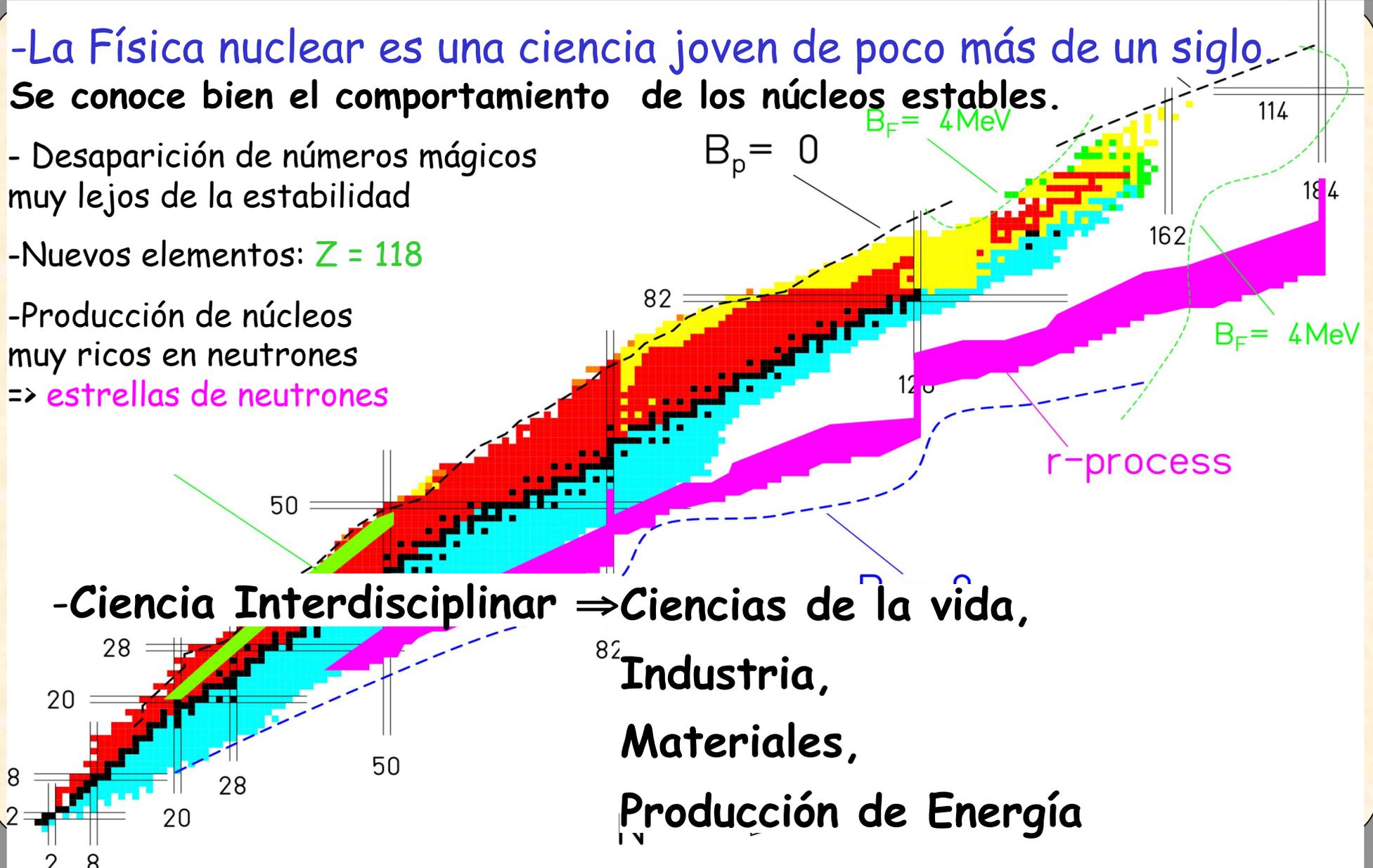
- Desaparición de números mágicos muy lejos de la estabilidad

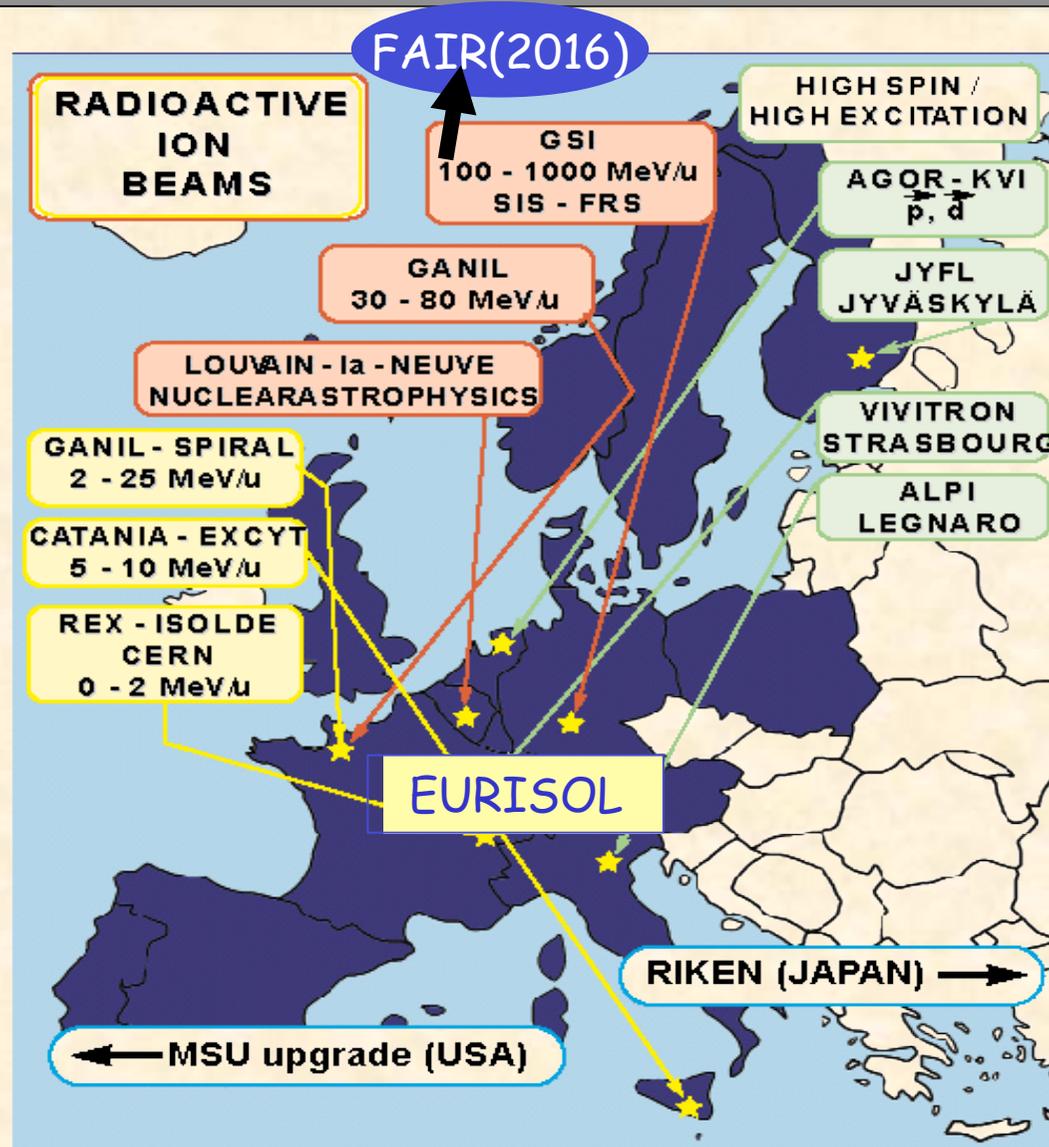
-Nuevos elementos: $Z = 118$

-Producción de núcleos muy ricos en neutrones

=> *estrellas de neutrones*

-Ciencia Interdisciplinar => Ciencias de la vida,
Industria,
Materiales,
Producción de Energía





Sin grandes inversiones en desarrollo y mejora de aceleradores

Y detectores

⇒ El avance será muy difícil

i Gracias por vuestra atención!

3w.nobel.se/physics/laureates/
3w.nobel.se/physics/educational/index.html