

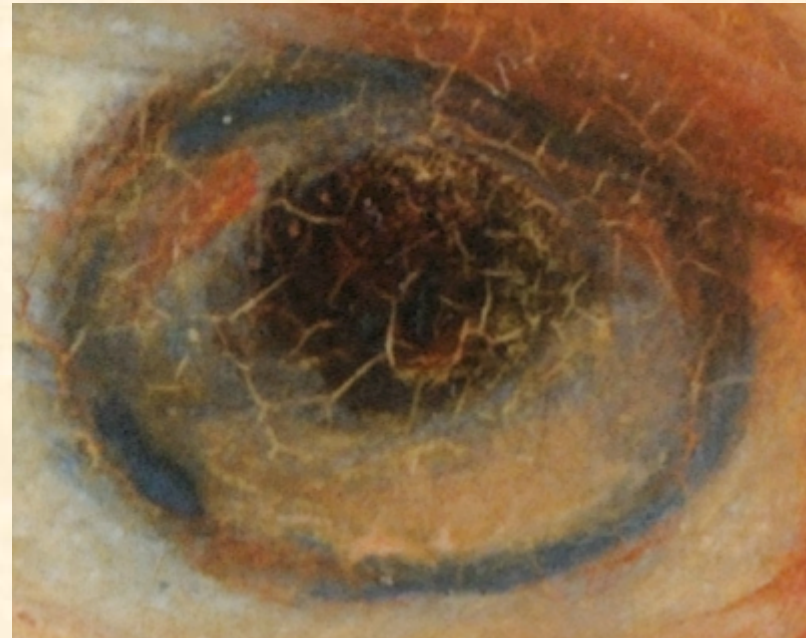
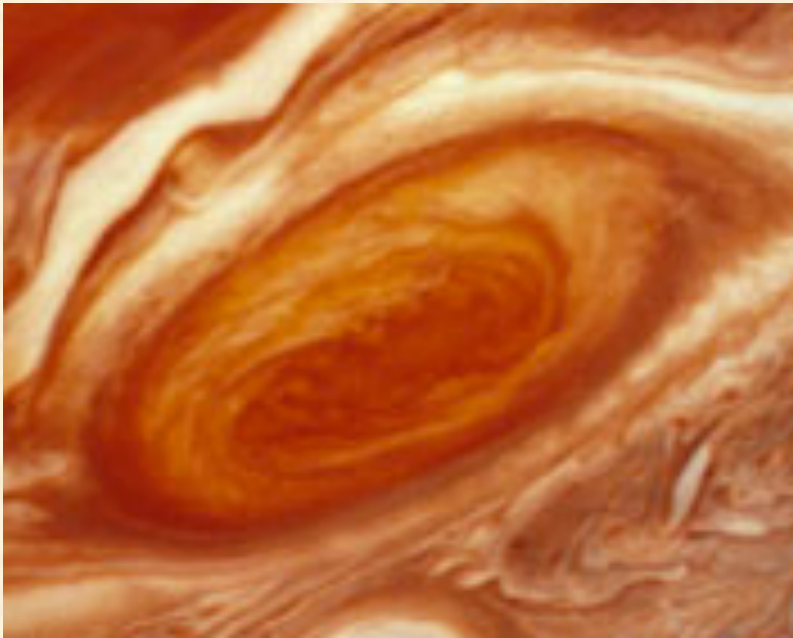
Viaje al Interior del Núcleo

- La Escala Nuclear
- Descubrimiento del Mundo Subatómico
- Estructura Nuclear y Reacciones: Fenómenos Sorprendentes
- Aplicaciones: Terapia con hadrones

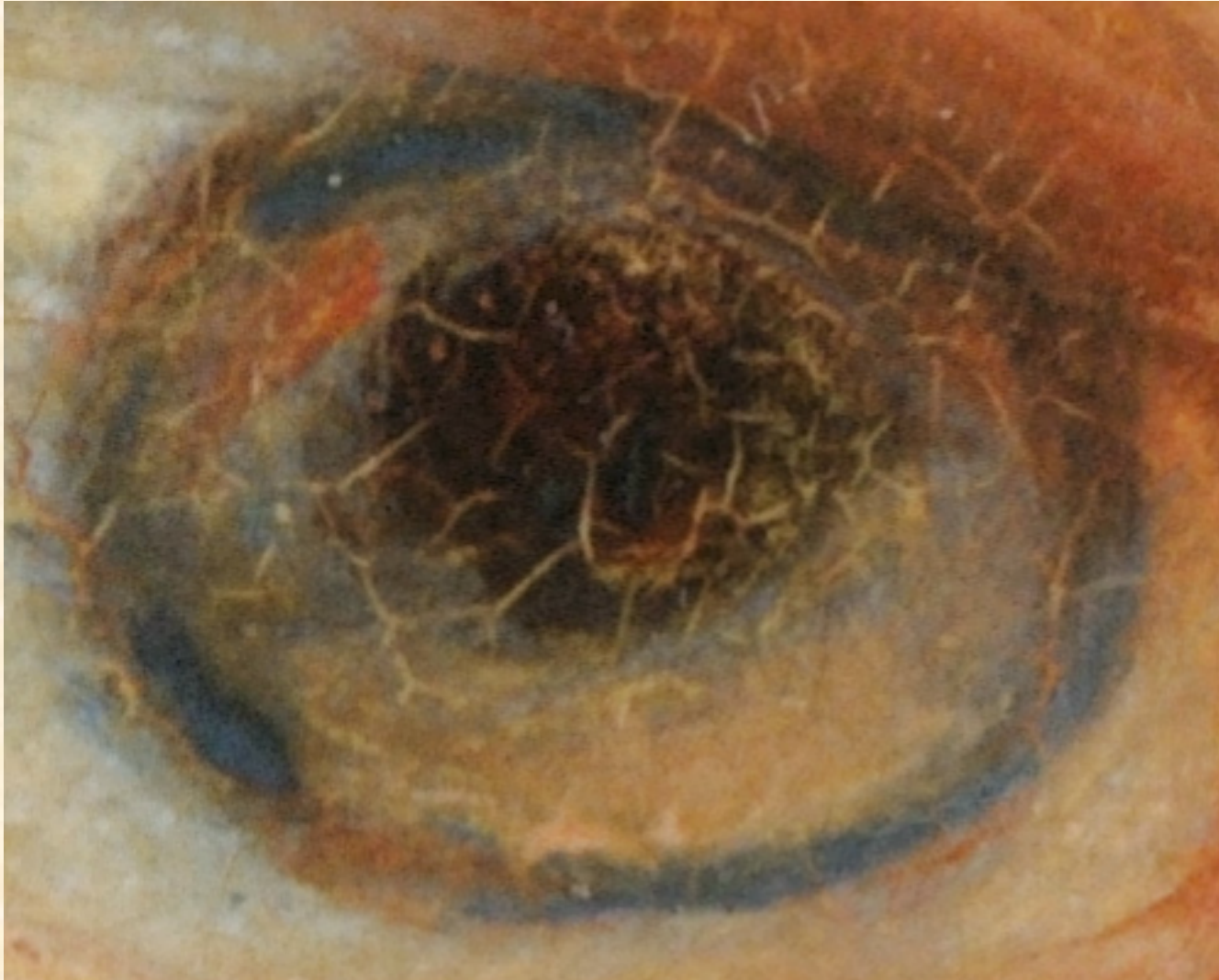
Enrique Nácher González

Inst. Estructura de la Materia, CSIC

El punto de vista importa...











The Earth and the orbit of the Moon.



10^{+9} meters

1 million kilometers

The Western Hemisphere of the Earth.



10^{+7} meters

10.000 kilometers

Southwest Tallahassee, Florida.



10^4 meters

10 kilometers

Top of large Oak tree.



10^1 meters

10 meters

Oak tree leaves at actual size.



10^{-1} meters

10 centimeters

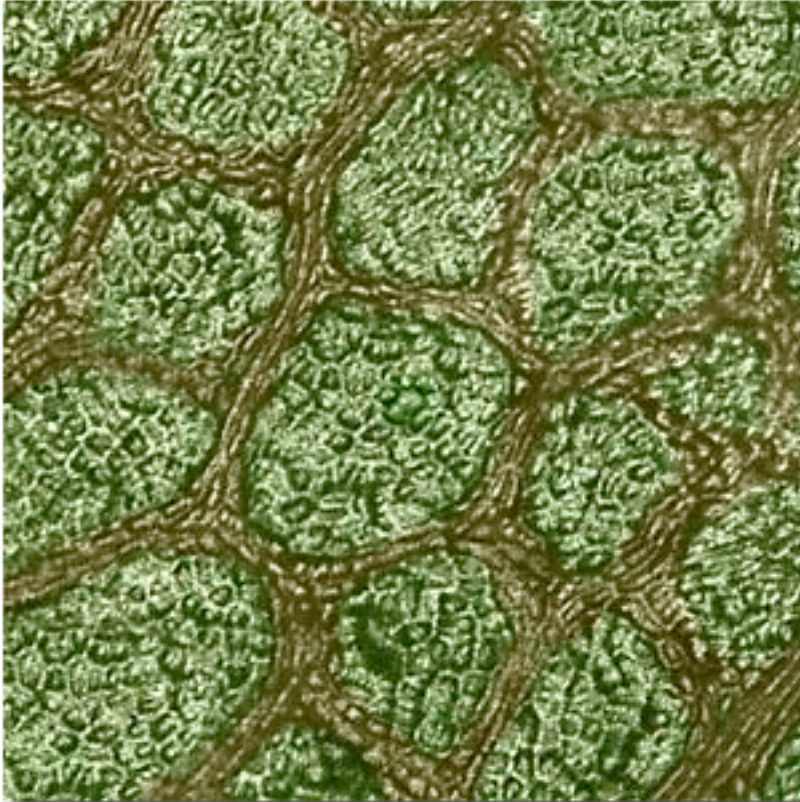
Surface of an Oak leaf magnified 10 times.



10^{-2} meters

1 centimeter

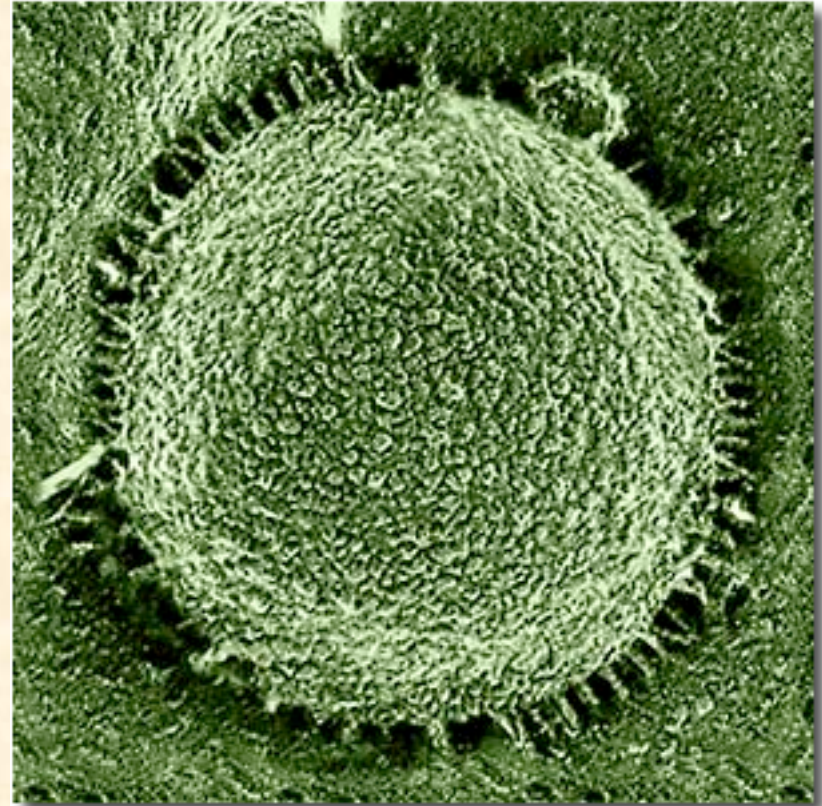
Cells on the leaf surface.



10^{-4} meters

100 micrometers

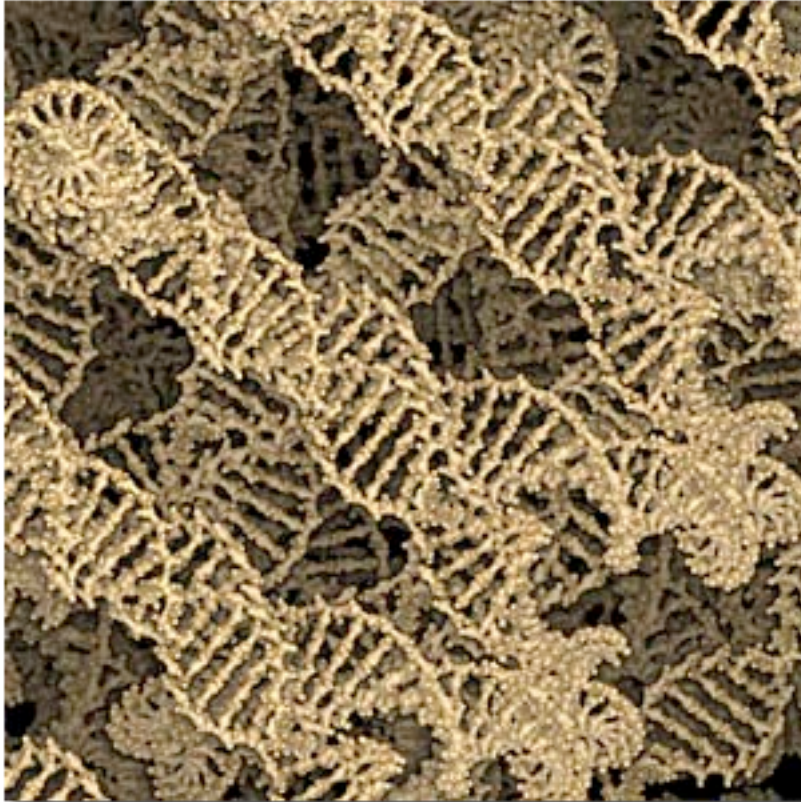
The nucleus of a leaf cell.



10^{-6} meters

1 micrometer

Individual DNA strands.



10^{-8} meters

10 nanometers

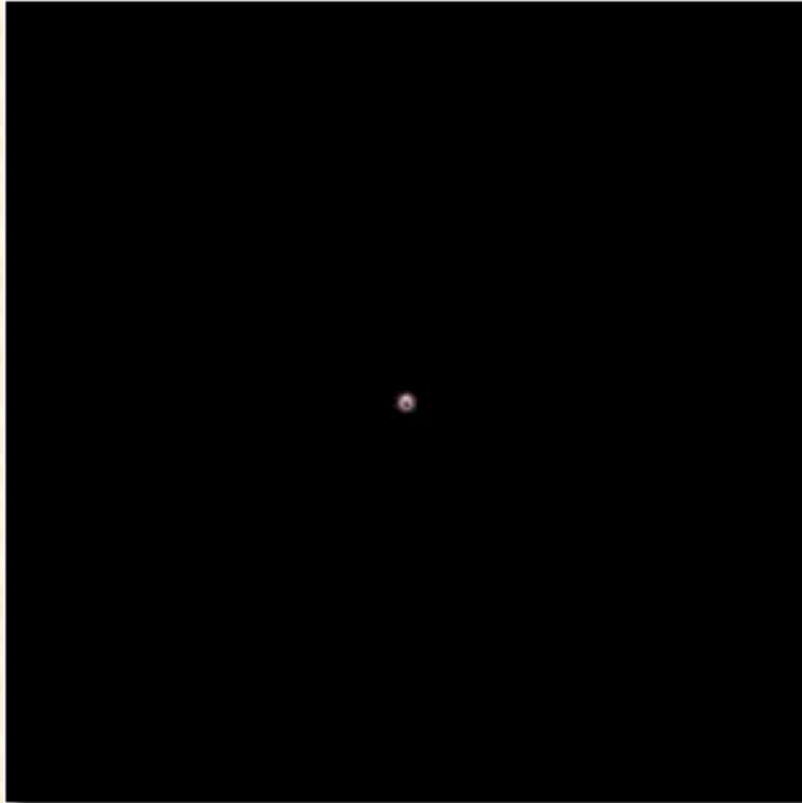
DNA nucleotide building blocks.



10^{-9} meters

1 nanometer

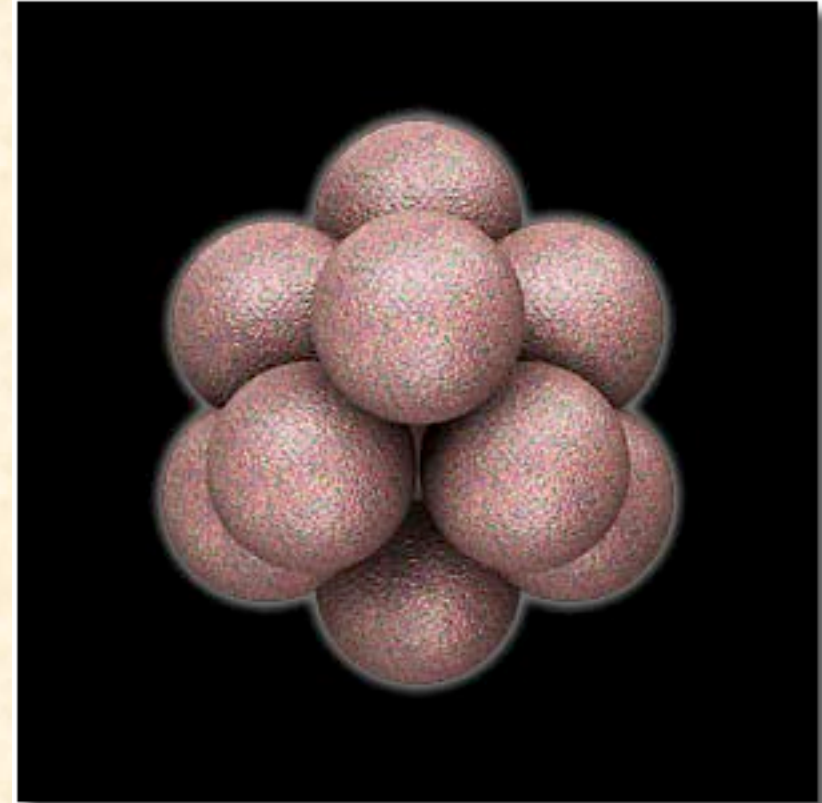
Empty space between inner shell and nucleus.



10^{-12} meters

1 picometer

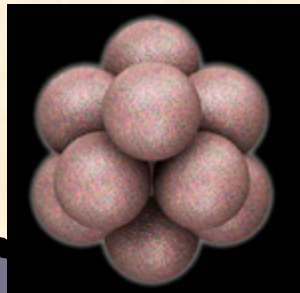
Nucleus of the carbon atom.



10^{-14} meters

10 femtometers

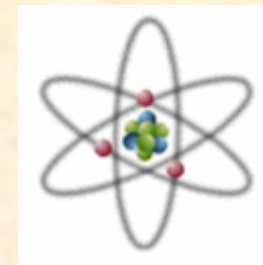
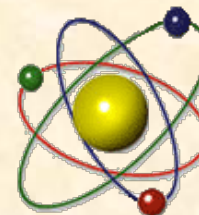
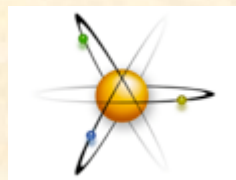
Núcleo de C



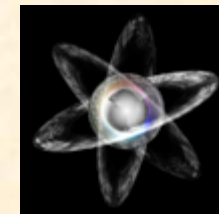
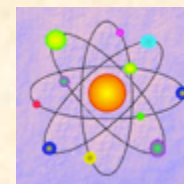
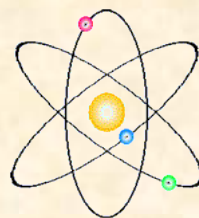
x 100000



Átomos de C

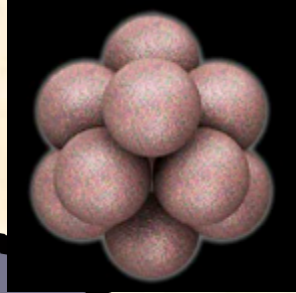


MUY MALA
REPRESENTACIÓN
DEL ÁTOMO !!!



A escala: si representamos un núcleo de C con la cabeza de un alfiler en medio del Santiago Bernabeu, un átomo de C equivaldría a tener electrones dando vueltas alrededor de la cabeza de alfiler por las gradas del estadio

Núcleo de C



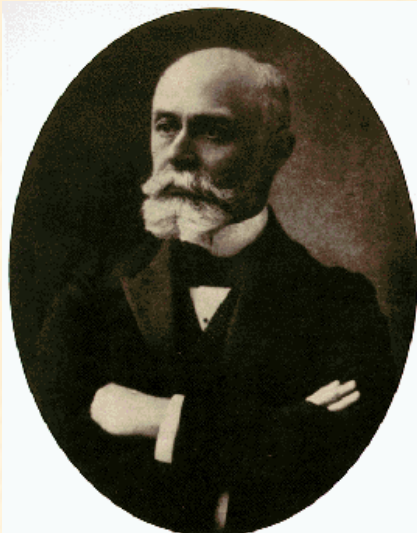
x 100000



Átomos de C



A escala: si representamos un núcleo de C con la cabeza de un alfiler en medio del Santiago Bernabeu, un átomo de C equivaldría a tener electrones dando vueltas alrededor de la cabeza de alfiler por las gradas del estadio



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



Marie Curie



Pierre Curie

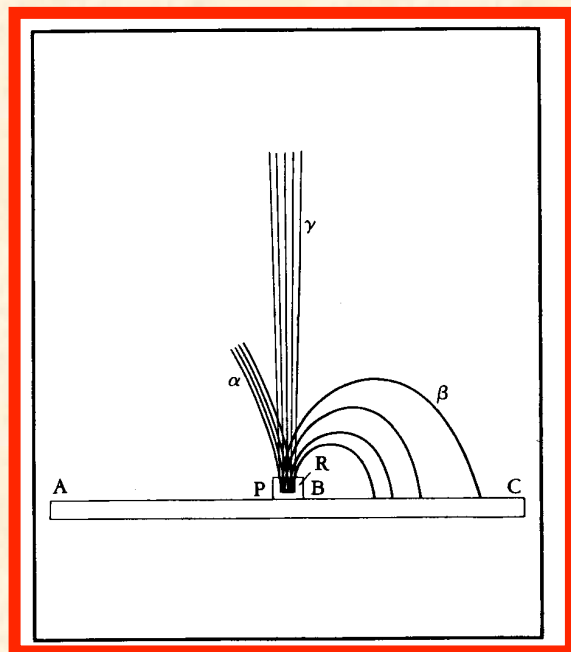
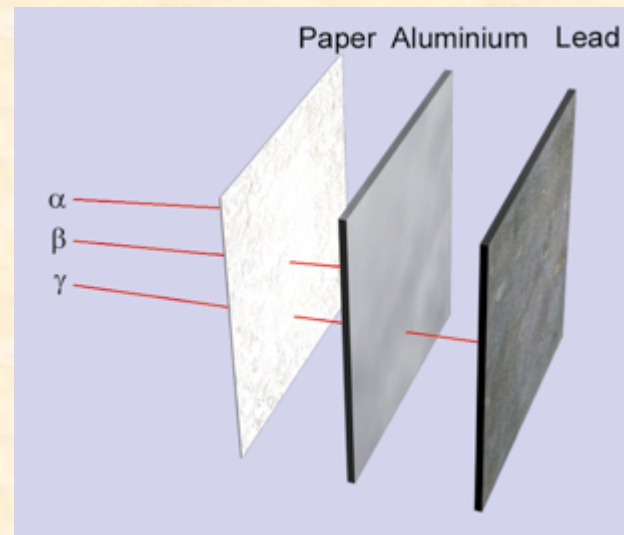
Obtuvieron las mismas propiedades en **sales de Torio**

- Hipótesis: Radiación propiedad atómica, **Radiactividad**
- En Bismuto descubrieron un elemento más activo: **Polonio**. En fragmentos de Bario encontraron **Radio**



E. 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

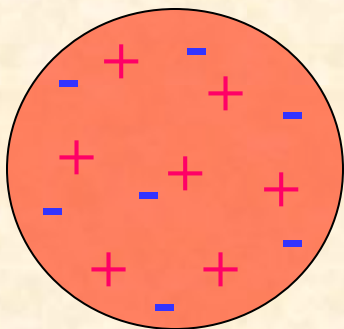


Transmutación

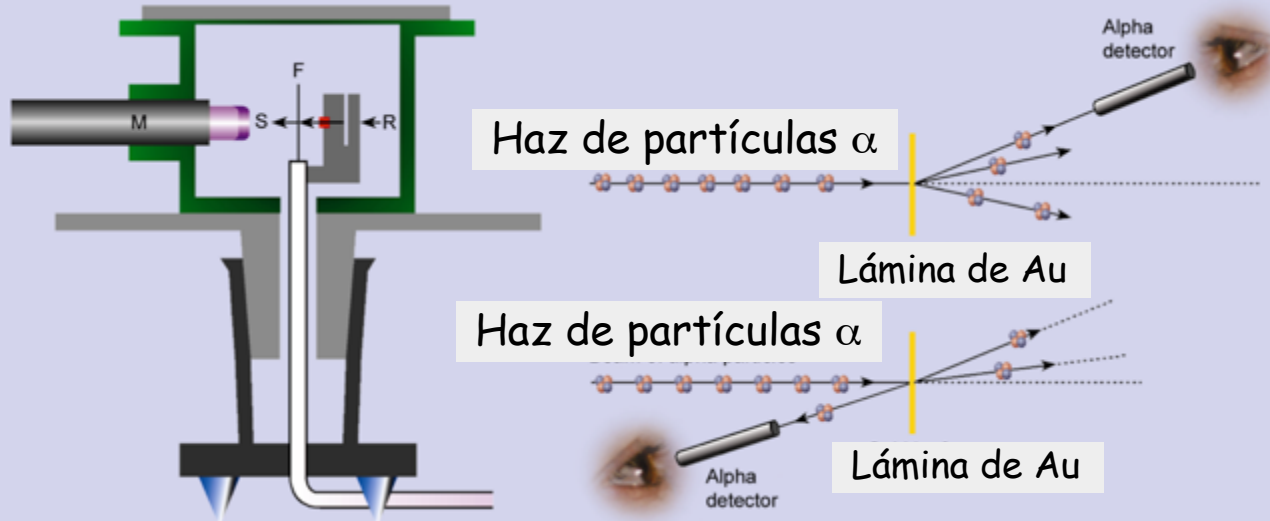
..y **Rutherford** fue a McGill a trabajar con Soddy y descubrieron que **la radioactividad transforma unos elementos en otros (P. Nobel 1908)**

"¡Por Dios, Soddy, no lo llames 'transmutación'! ¡Acabarán con nosotros por alquimistas!"

Modelo de Thomson "plumb pudding"



Rutherford

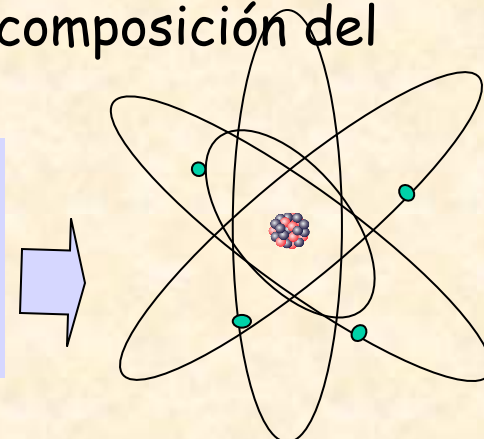


1907, Manchester (UK)

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



¿Cuáles son los constituyentes del núcleo?

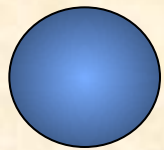
➤ La radioactividad nos dice que los núcleos emiten α , β , γ .

- ¿Está el núcleo formado por α , β ? ii Pero $M_H < M_\alpha$!!
 - Debe estar formado por partículas positivas más pequeñas que la α y que son además constituyentes de ésta: protones
- Si está formado por protones, ¿Cómo puede el N ser neutro si tiene masa $14 \times m_p$ y 7 electrones?
 - Rutherford propuso la existencia de una partícula neutra: el neutrón

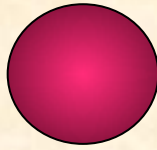


Heisenberg propuso que el núcleo era un sistema cuántico que estaba formado únicamente por protones y neutrones.

...Y los electrones emitidos, ¿de dónde vienen ?



Neutrón



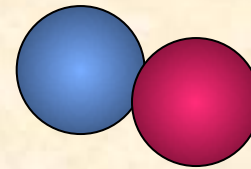
Protón

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

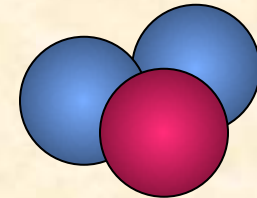
$$m_p = 1.6727 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

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

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

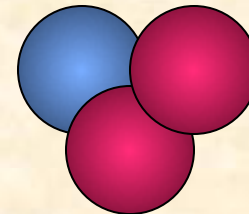


^2H

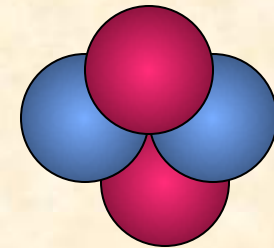


^3H

$T_{1/2} = 12,3 \text{ y}$

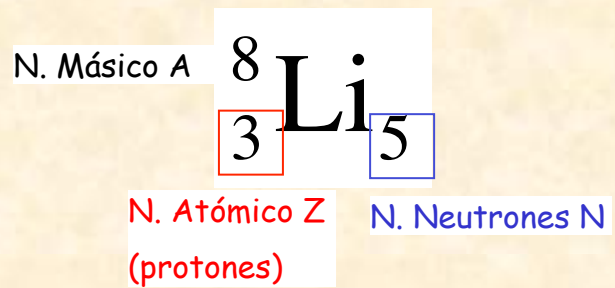
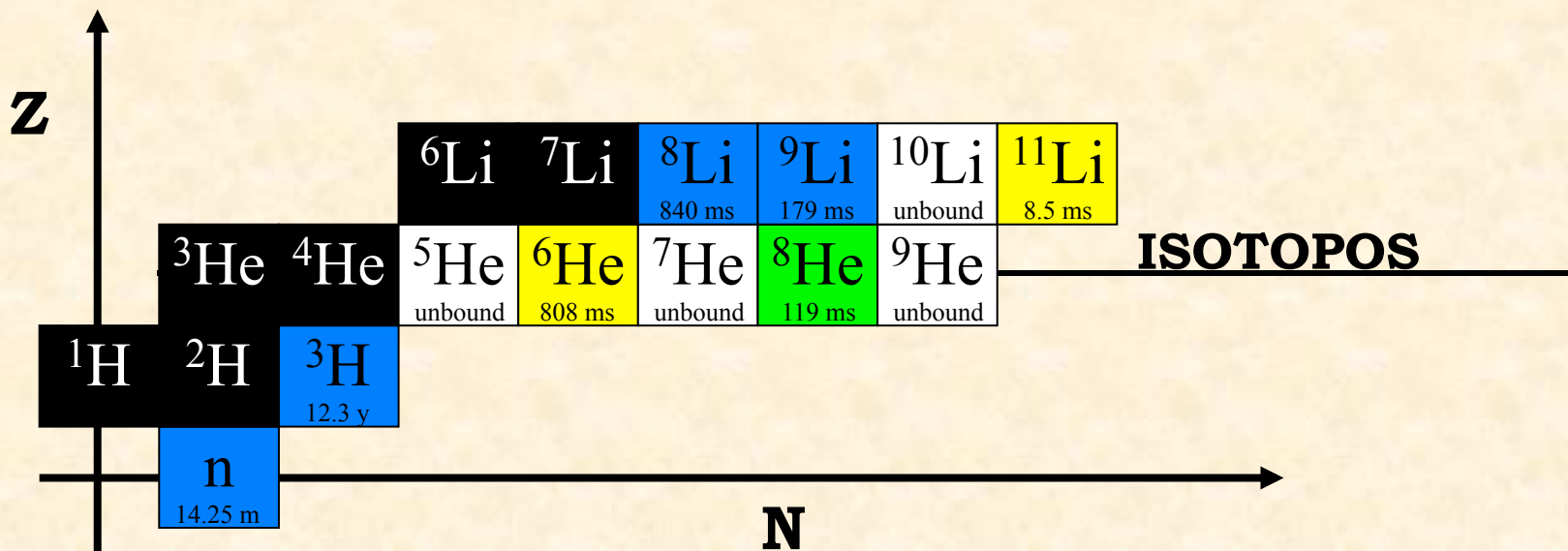


^3He



^4He

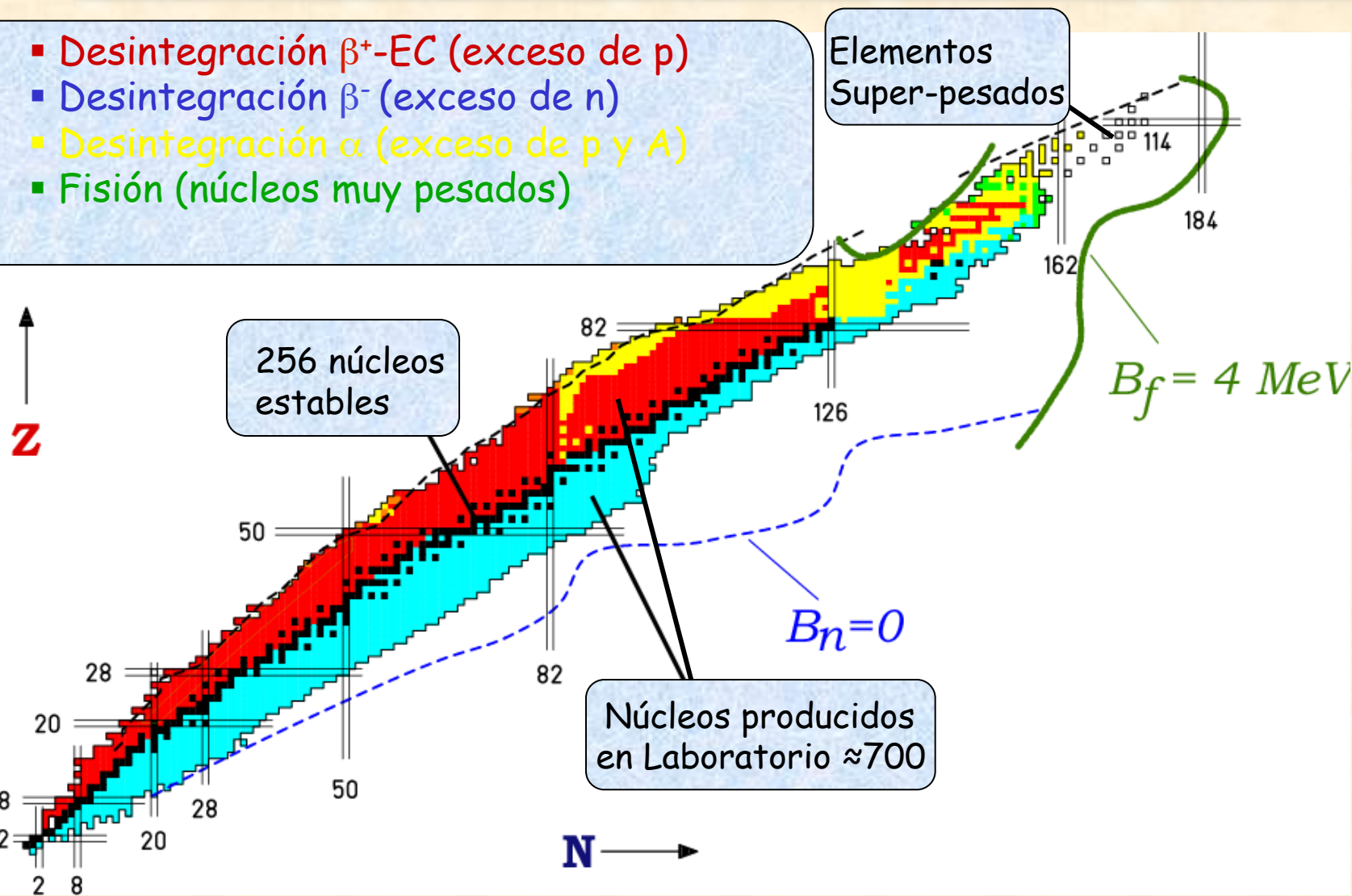
La Tabla de Núclidos: nuestra t. periódica



$$A = Z + N$$

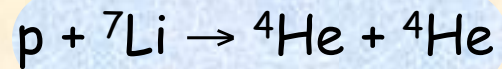
$$M(Z,N) = ZM_p + NM_n - E$$

- Desintegración β^+ -EC (exceso de p)
- Desintegración β^- (exceso de n)
- Desintegración α (exceso de p y A)
- Fisión (núcleos muy pesados)

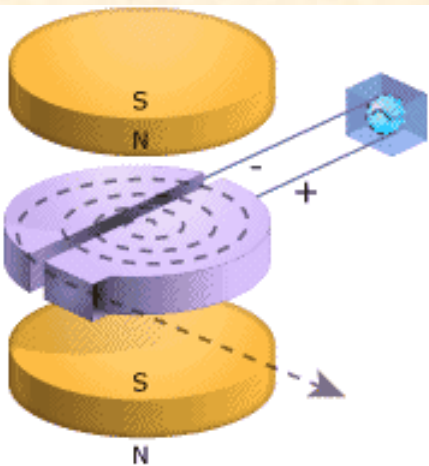




1932 Primera Reacción con protones:



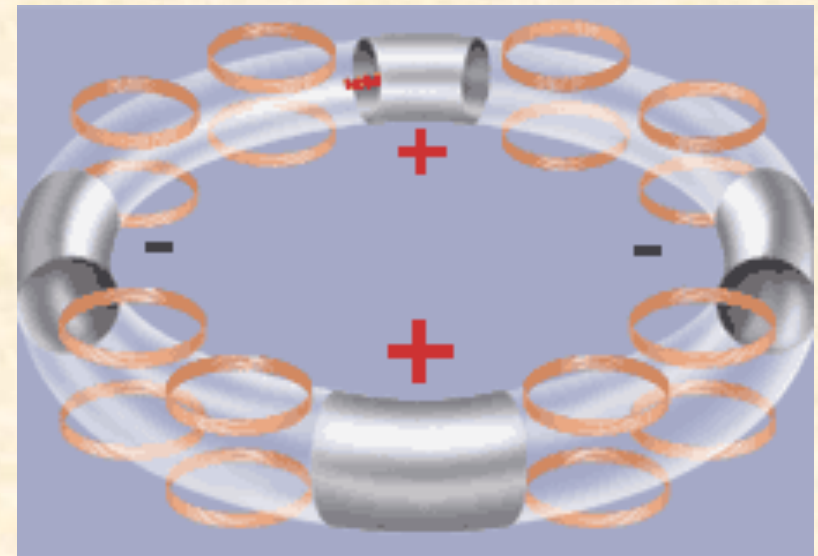
Crocoft & Walton (PN 1951)
 Construyeron (1930) el primer acelerador para explorar el núcleo



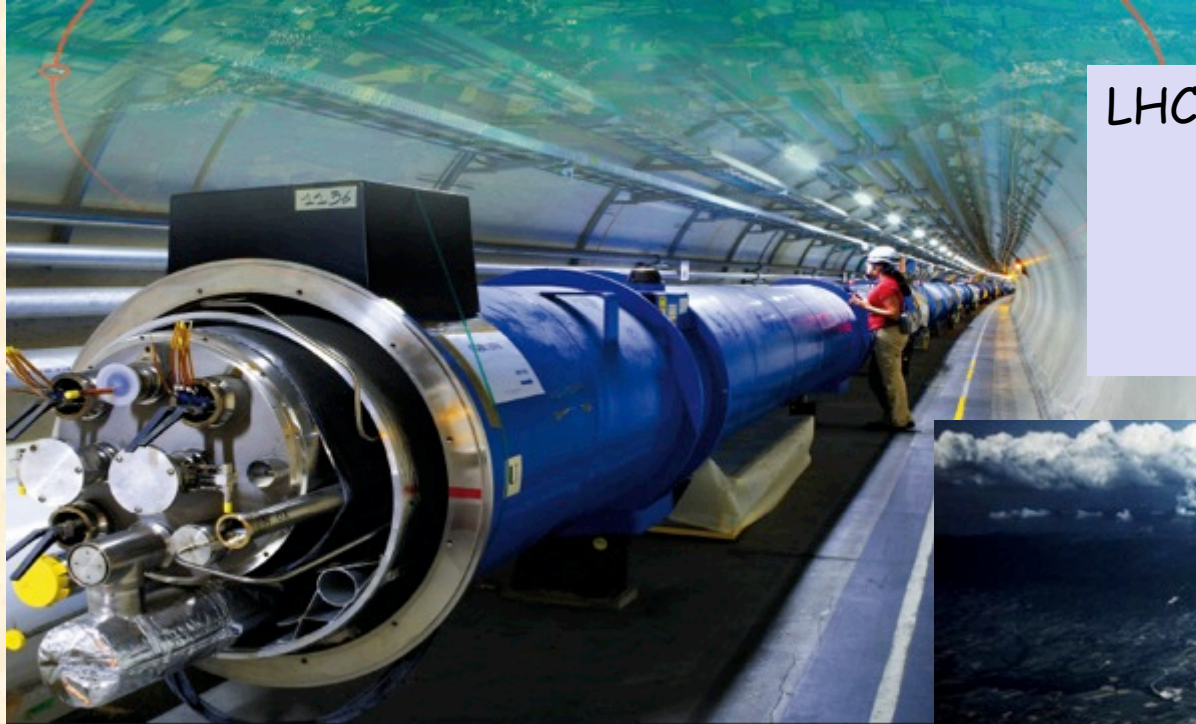
Ciclotrón



Lawrence (PN 1939)
 propuso el ciclotrón



Sincrotrón (1940)



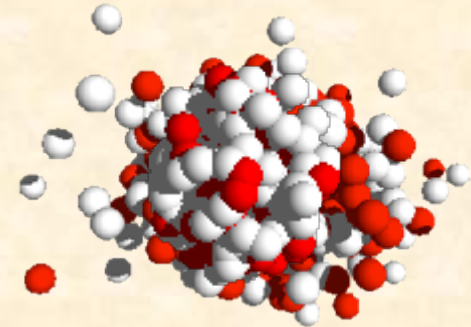
LHC: 27 km de circunferencia
1232 imanes superconductores.
Comenzó a operar en 2009

LHC: Temperatura de LHe ($\approx -270\text{ }^{\circ}\text{C}$)
Ha costado $\approx 2200\text{ M€}$ (JJOO)

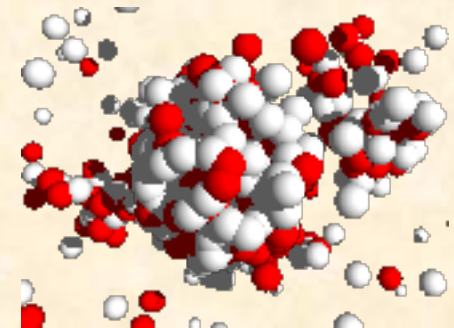


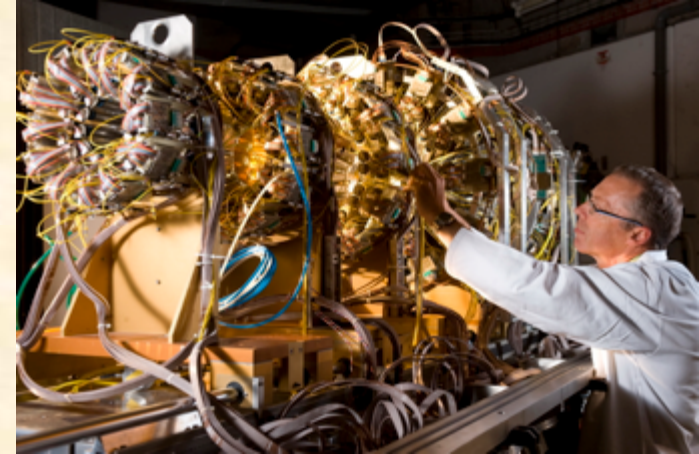
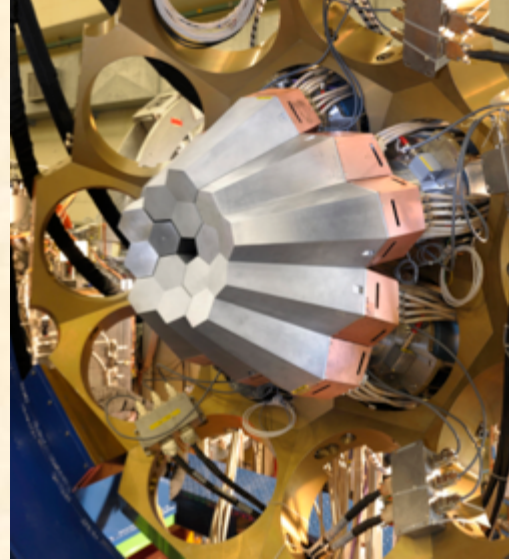
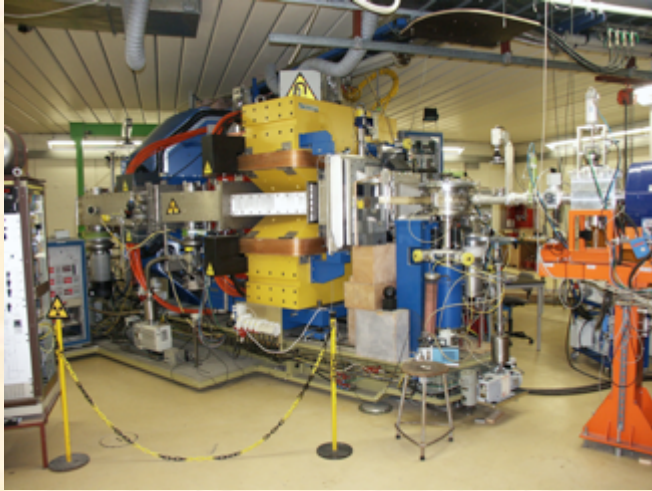
Un ejemplo: Reacciones con iones pesados:

- A bajas energías: fusión-evaporación



- A media-alta energía: fragmentación

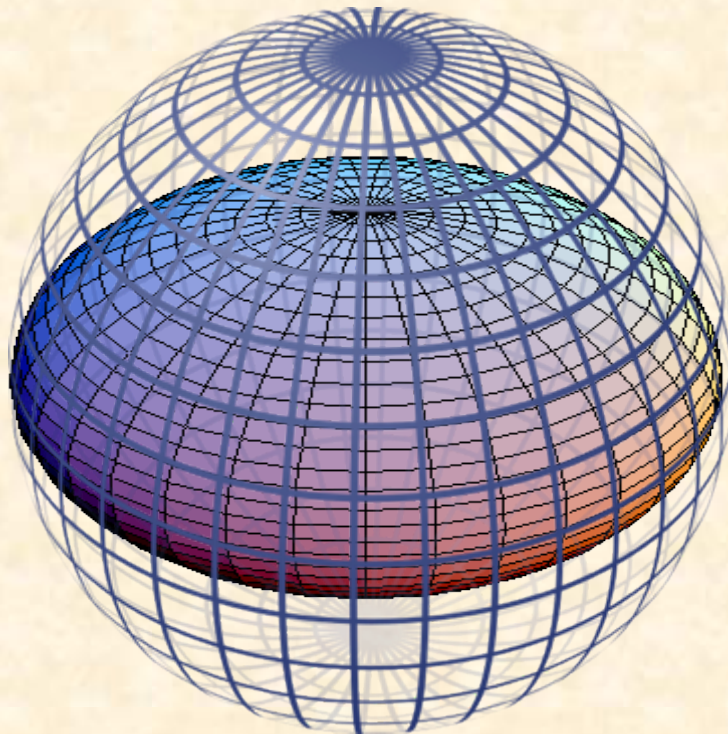




Lo que uno no se imagina de los
núcleos atómicos:

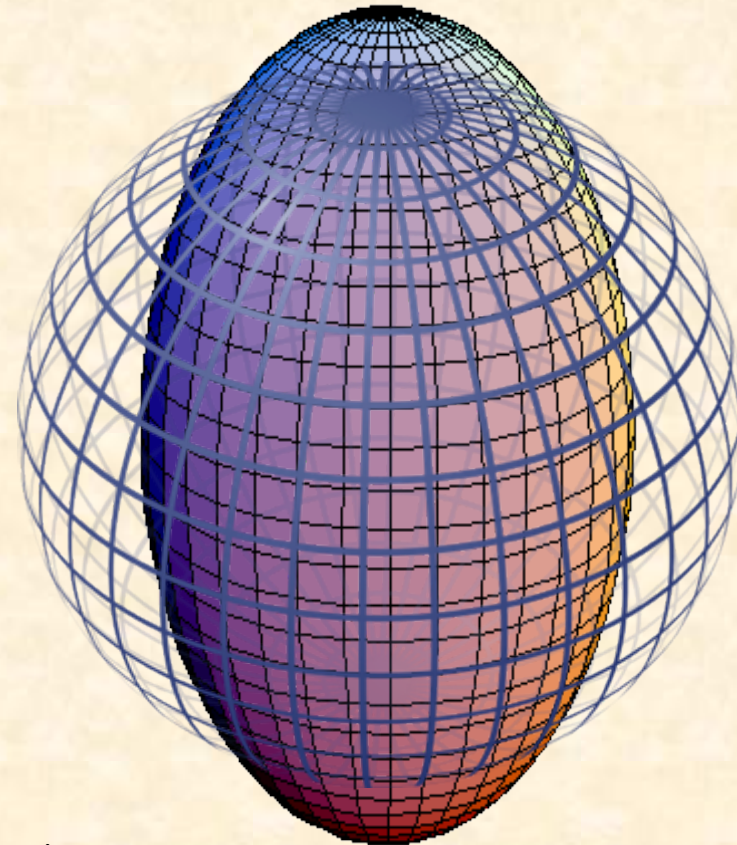
- Deformación Nuclear: Estados Vibracionales y Rotacionales
- Violación de Paridad
- Núcleos con Halo
- Resonancias Gigantes
- Radioactividades exóticas
- Elementos super-pesados
- (...)

- Los núcleos no son puntos sin estructura, tienen distintas formas:



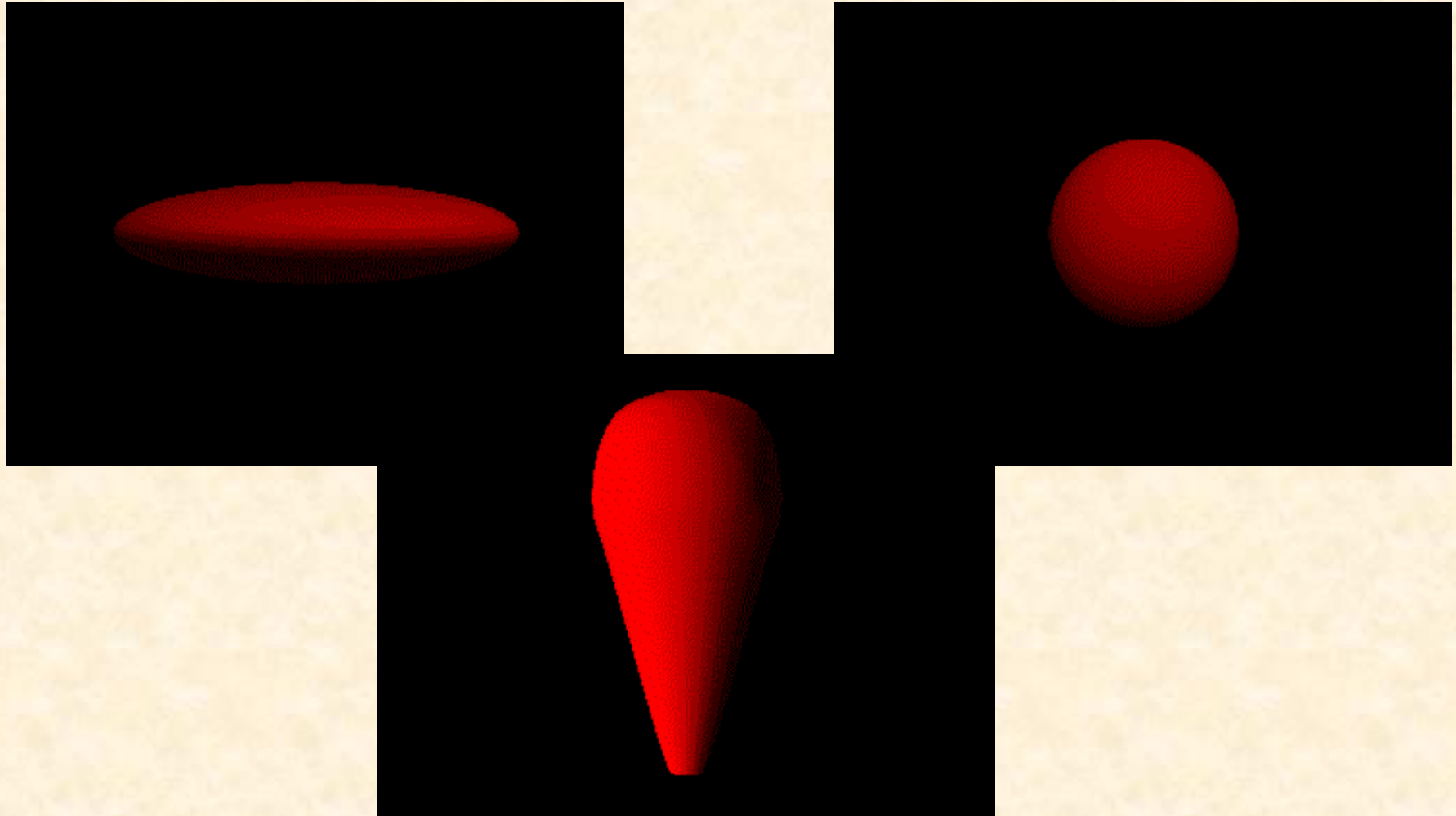
➤ Núcleo oblató

Núcleos esféricos

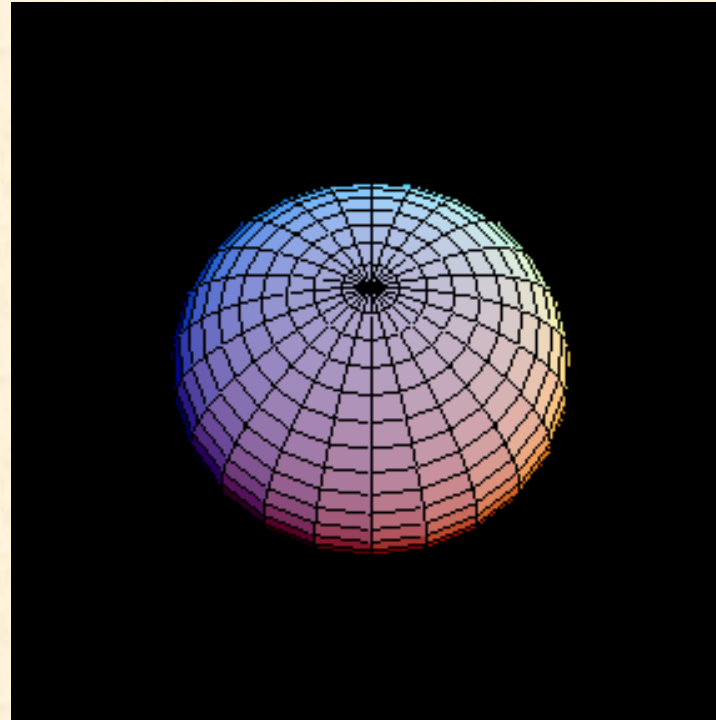
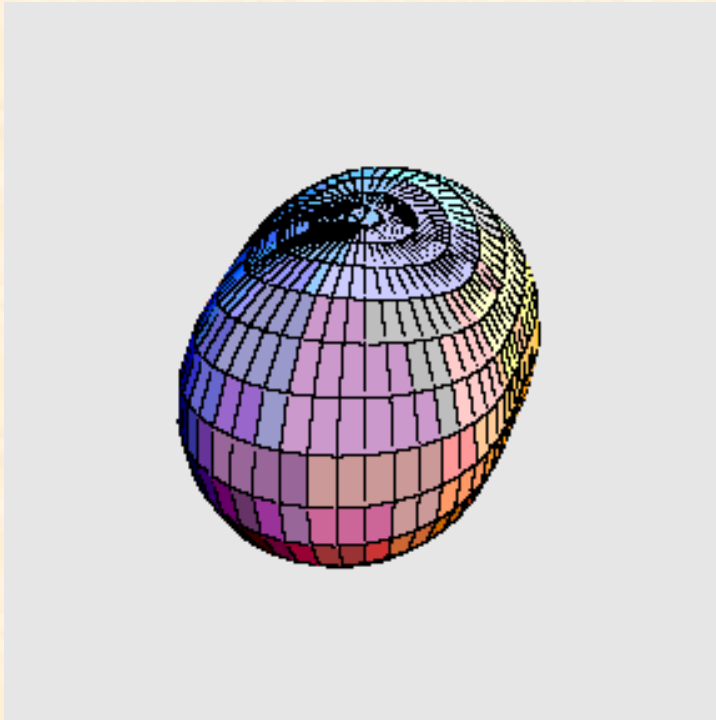


➤ Núcleo prolato

- Además la forma del núcleo puede oscilar: vibraciones



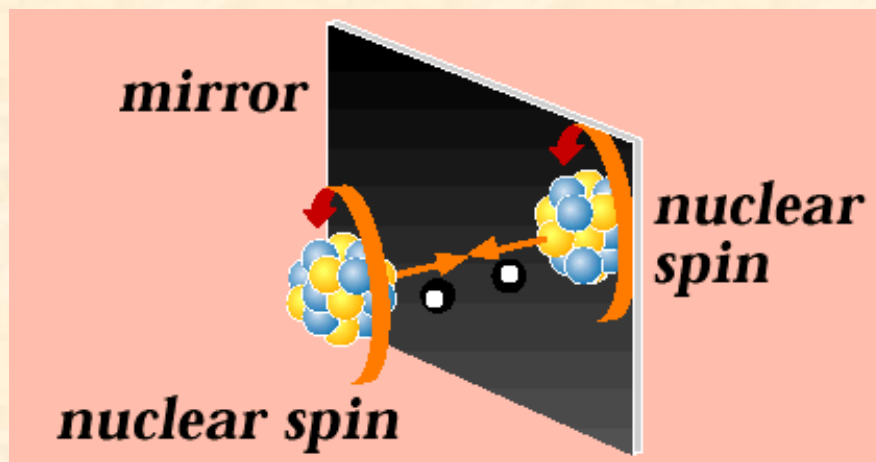
- Y un núcleo deformado puede rotar:



- Los espejos cambian izquierda por derecha pero no arriba por abajo:

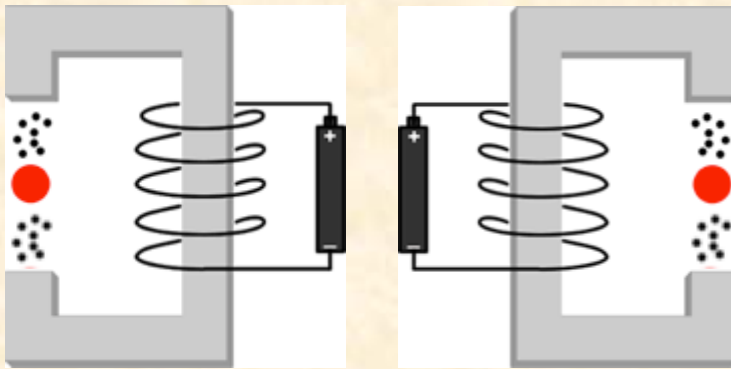


- En los núcleos podemos alinear el spin (momento magnético) e invertirlo como en el espejo

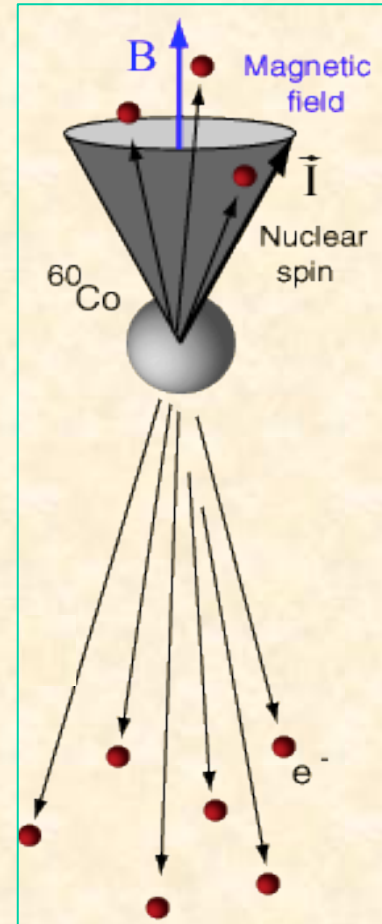
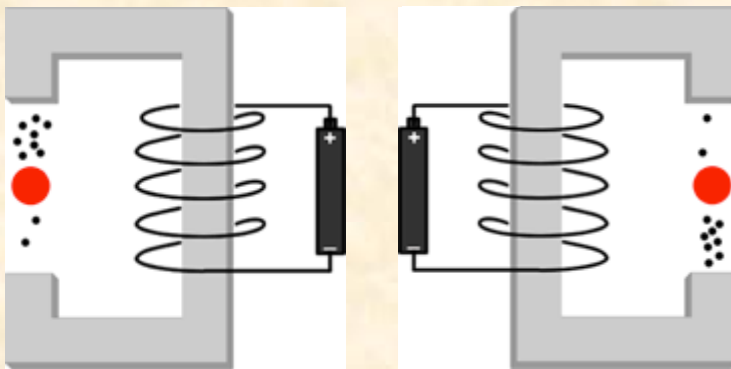


M. Wu estudió la desintegración beta del ^{60}Co "a ambos lados de un espejo"

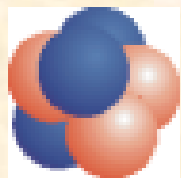
- Lo que se debía observar:



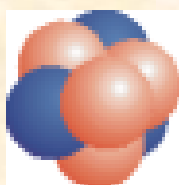
- Lo que se observó:



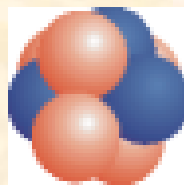
Los núcleos no pueden peinarse mirándose en un espejo !!



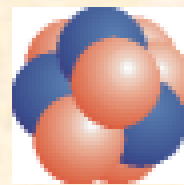
${}^6\text{Li}$



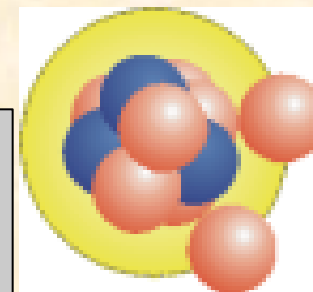
${}^7\text{Li}$



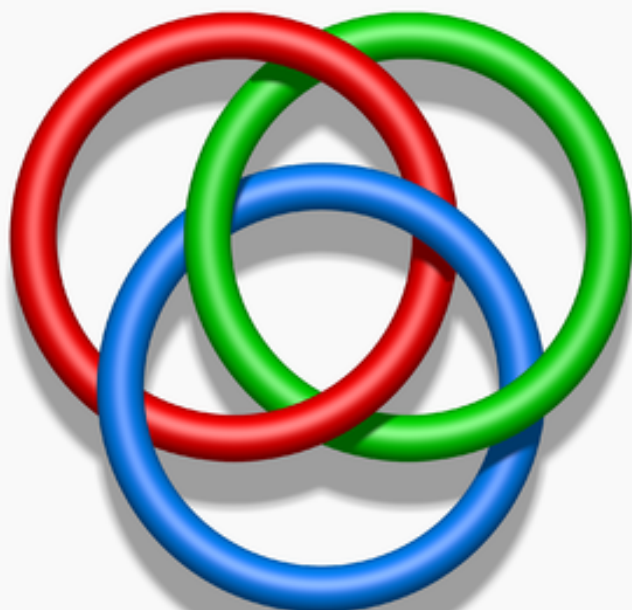
${}^8\text{Li}$



${}^9\text{Li}$

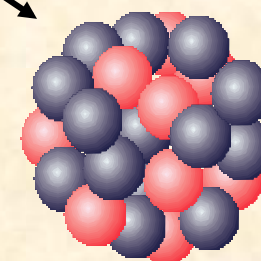
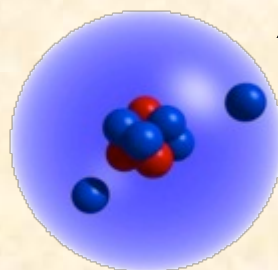


${}^{11}\text{Li}$



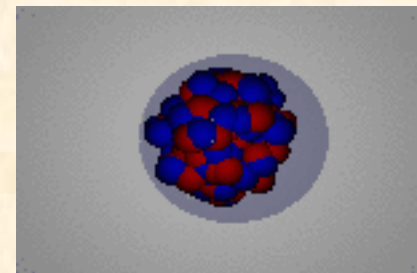
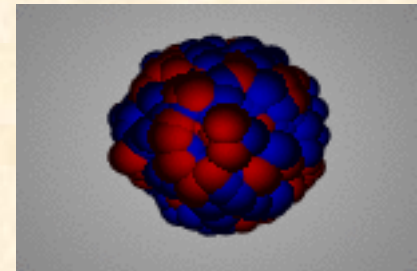
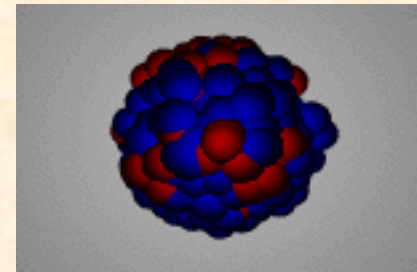
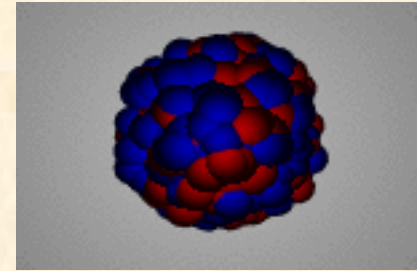
Sistema Borromeo

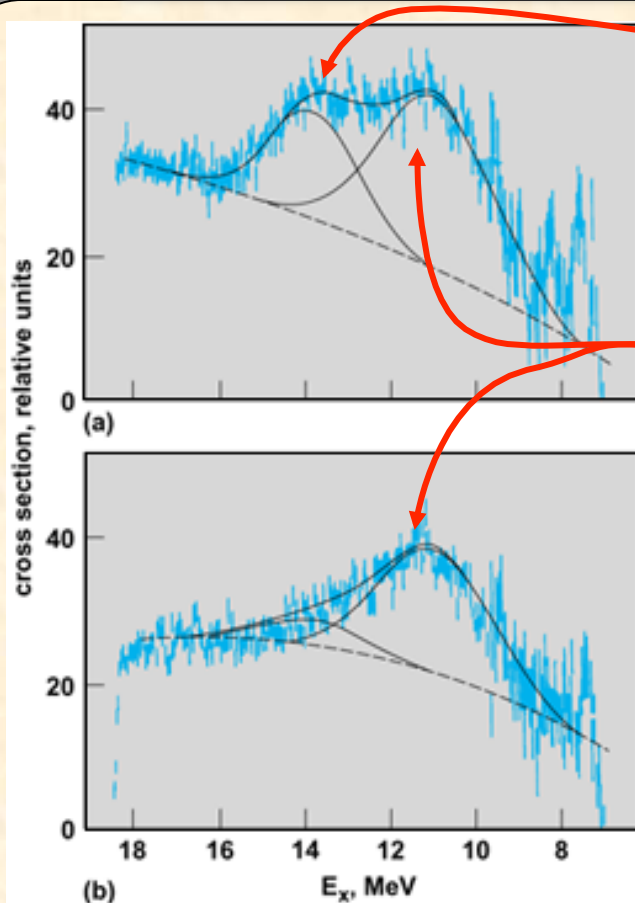
- Efecto observado en reacciones
 - Energía de enlace mínima
- Radios cuadráticos medios
Equivalentes: ${}^{11}\text{Li}$ y ${}^{48}\text{Ca}$



Estados muy colectivos en los que protones y neutrones oscilan en fase o en oposición de fase

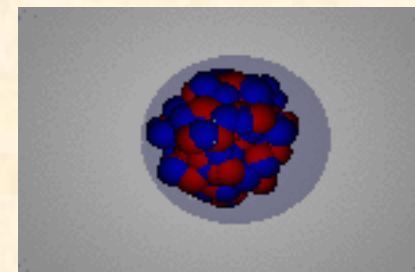
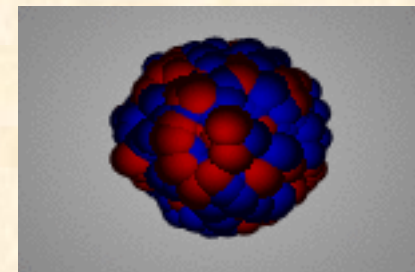
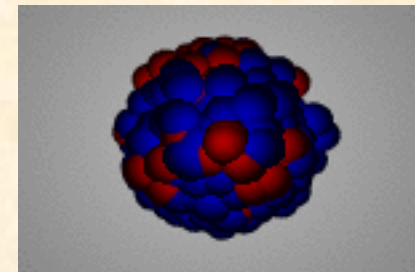
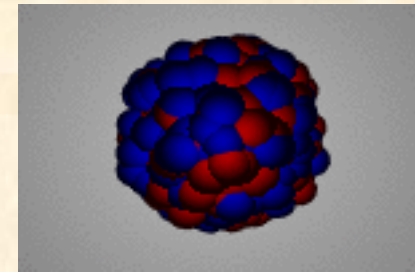
Responden a excitaciones causadas por diversas reacciones nucleares de distinto tipo



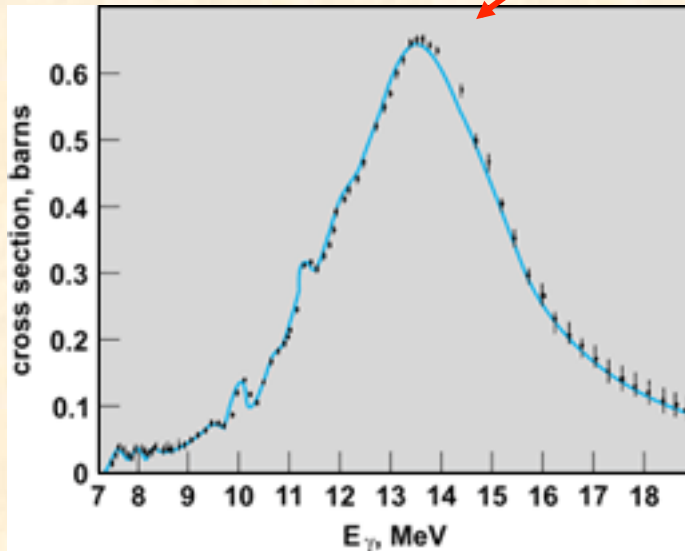


Giant Monopole Resonance

Giant Quadrupole Resonance

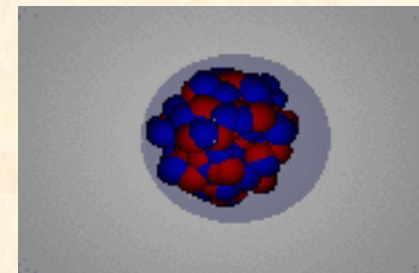
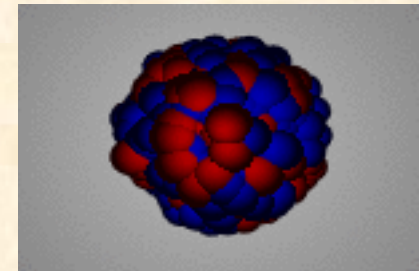
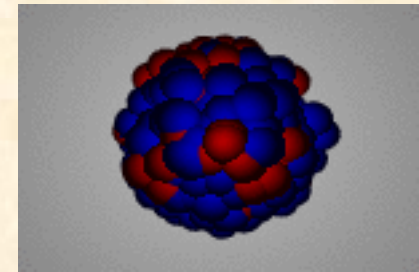
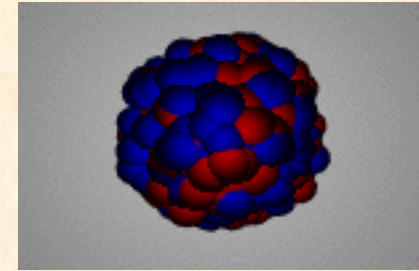


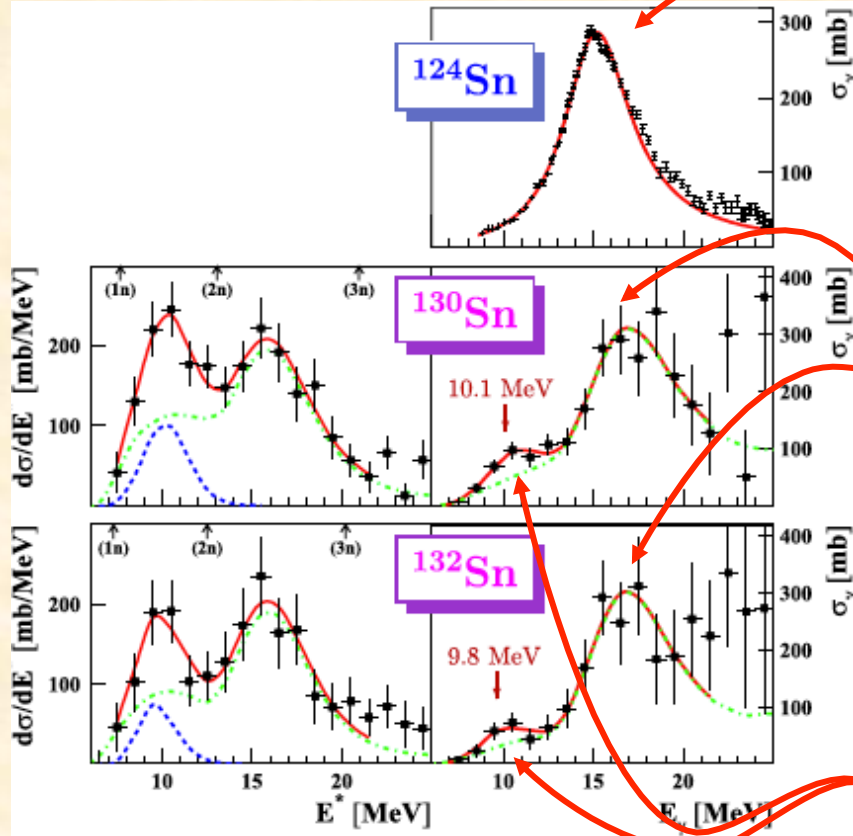
Dispersión de partículas α
(120 MeV) contra blanco de
 ^{208}Pb a dos ángulos distintos



Giant Dipole Resonance

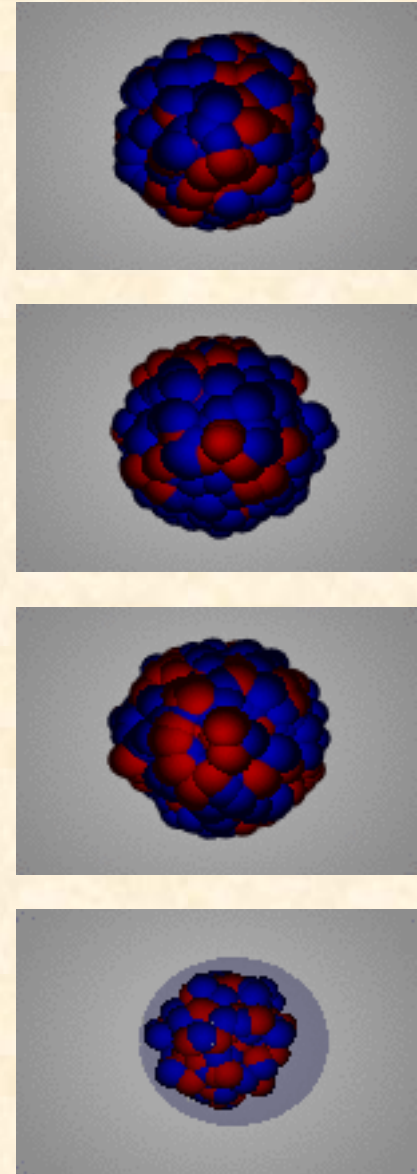
Disociación coulombiana sobre ^{197}Au





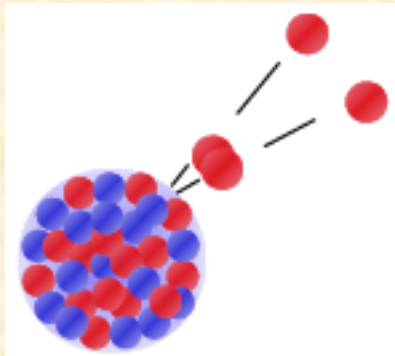
Giant Dipole Resonance

Pigmy Dipole Resonance

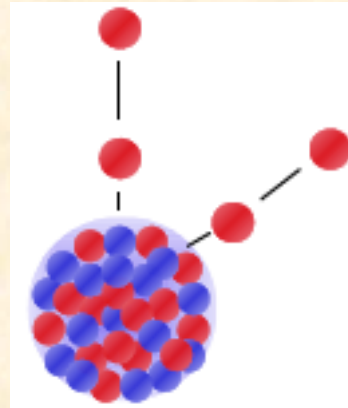


Disociación coulombiana sobre ^{124}Sn ^{130}Sn y ^{132}Sn

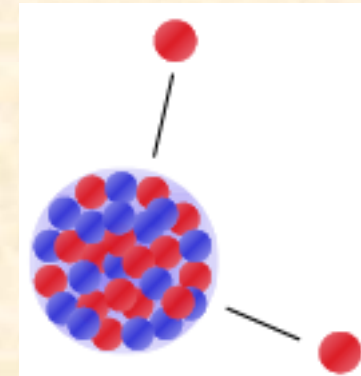
- Emisión de dos protones: tres posibles escenarios



Emisión de un diprotón (${}^2\text{He}$) y posterior ruptura de este en $2p$

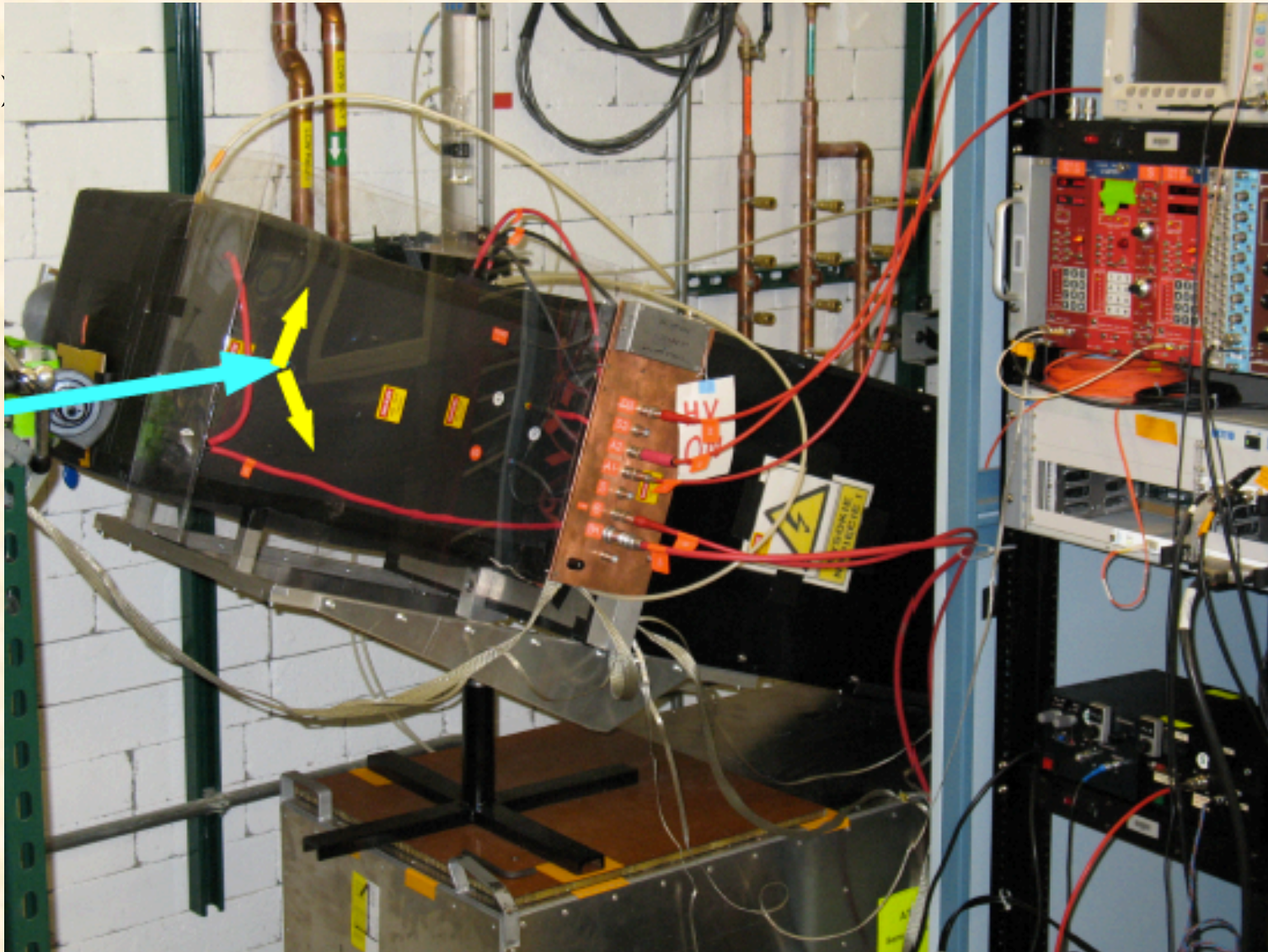


Ruptura espontánea a 3 cuerpos

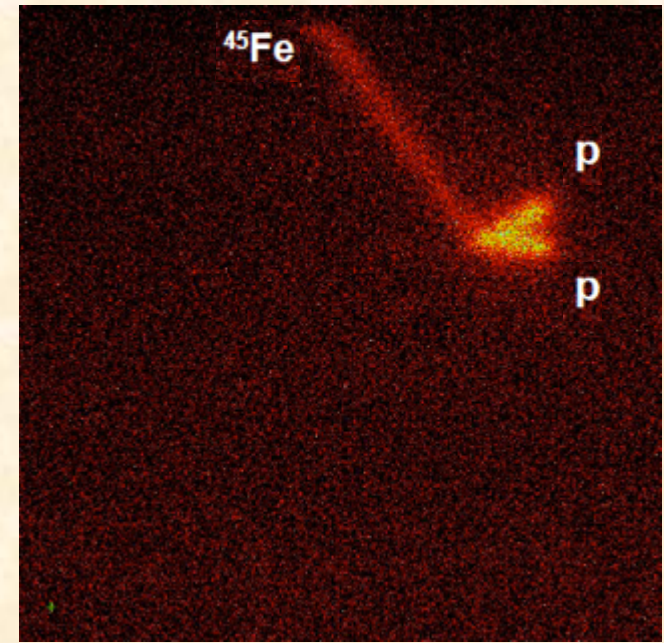
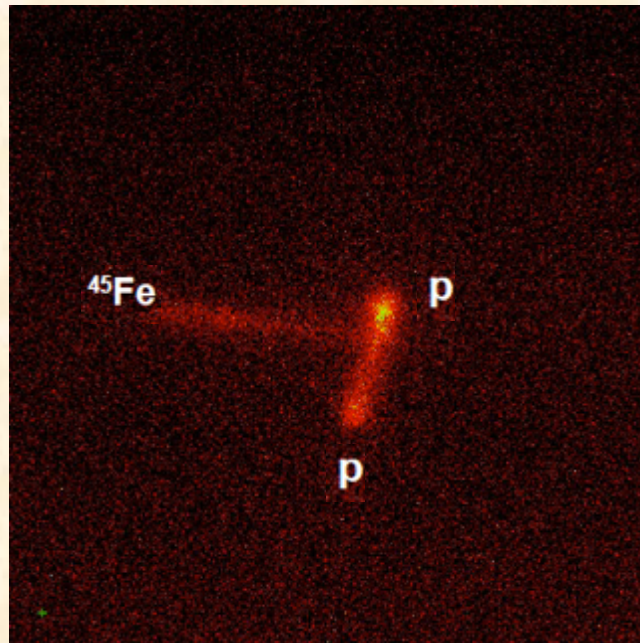
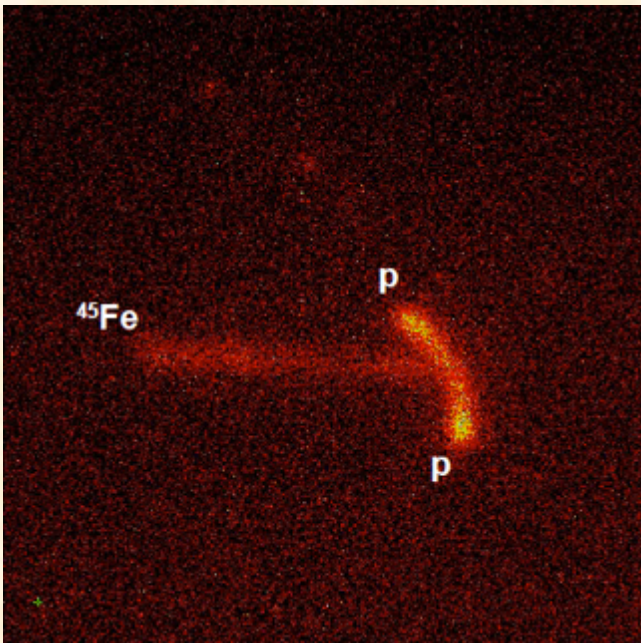


Emisión secuencial de 2 protones descorrelacionados

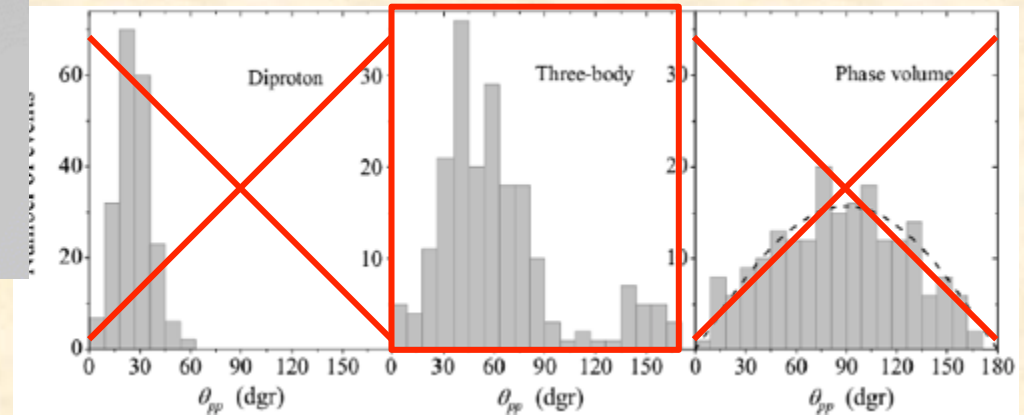
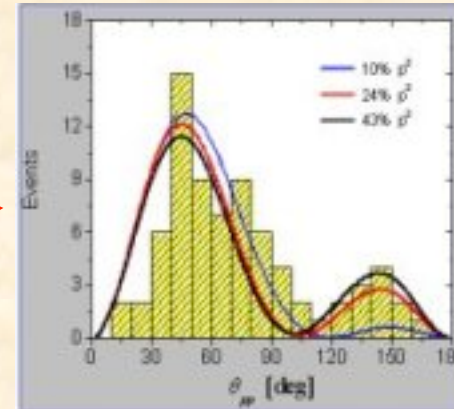
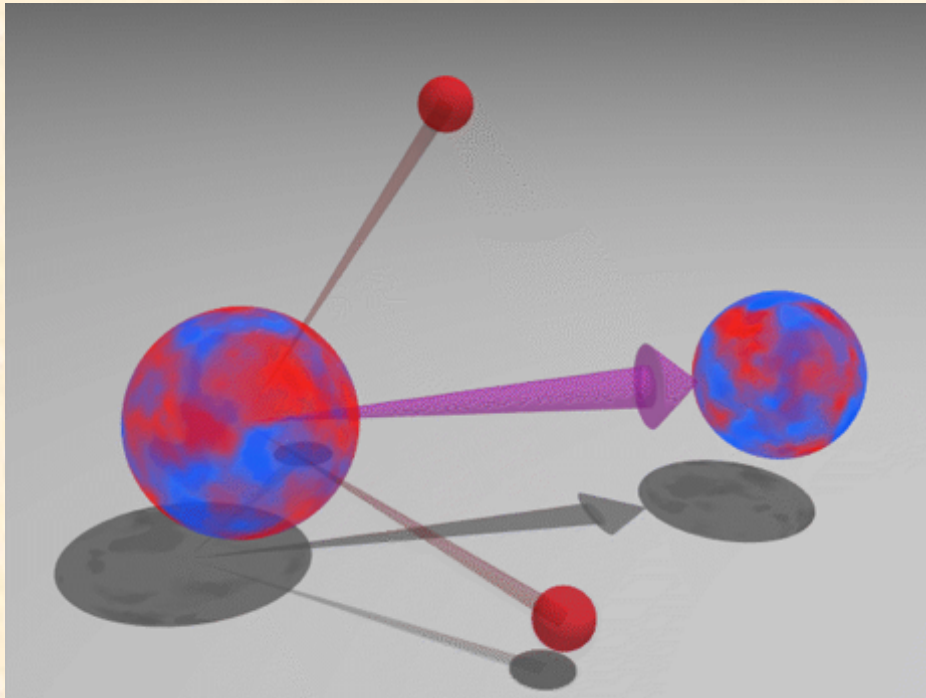
- Es necesaria una medida muy precisa del ángulo entre los protones y de su evolución temporal



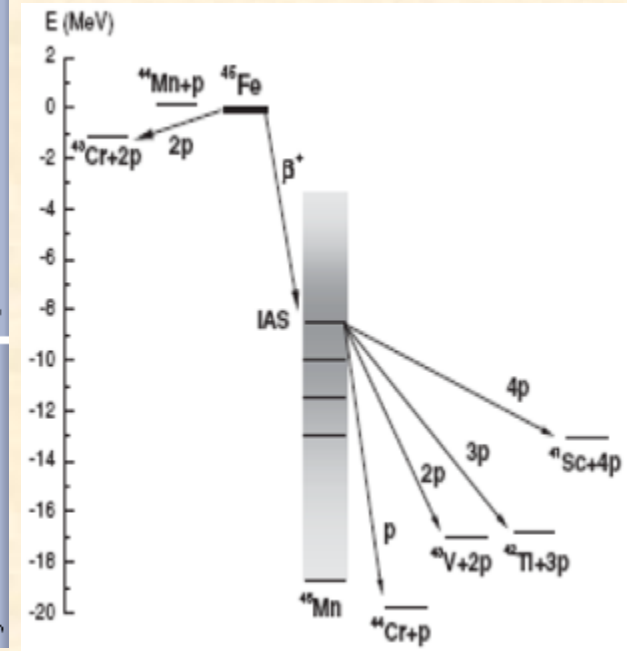
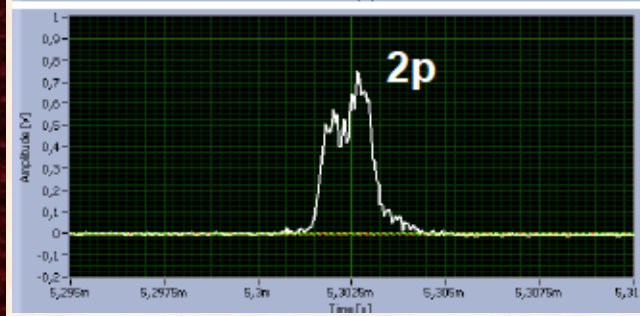
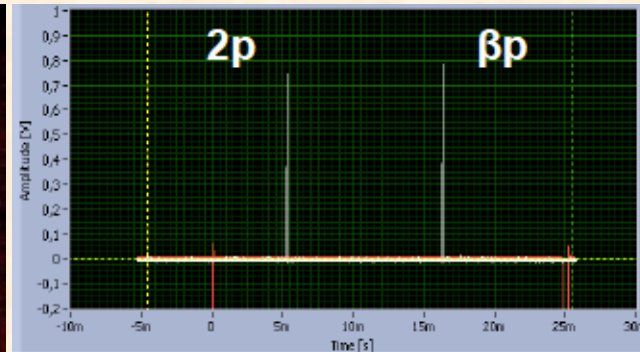
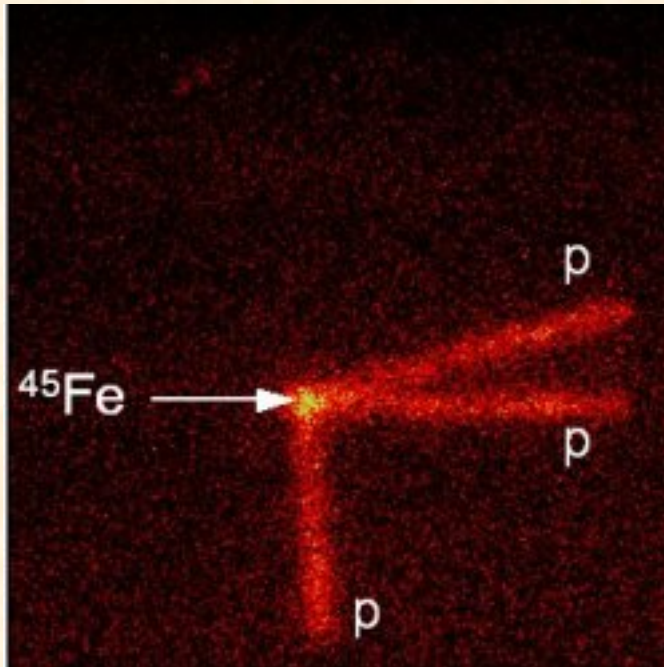
- Emisión de dos protones
- Radioactividad 2p en ^{45}Fe . Se ha medido en MSU (EE.UU.)



- Emisión de dos protones
- Radioactividad 2p en ^{45}Fe . Se ha medido en MSU (EE.UU.)



- Primera observación de una emisión de β -3p



¿Cuál es el final de la tabla Periódica?

- información única sobre la interacción Nuclear.
- Las teorías predicen una isla de estabilidad alrededor de $Z=120$

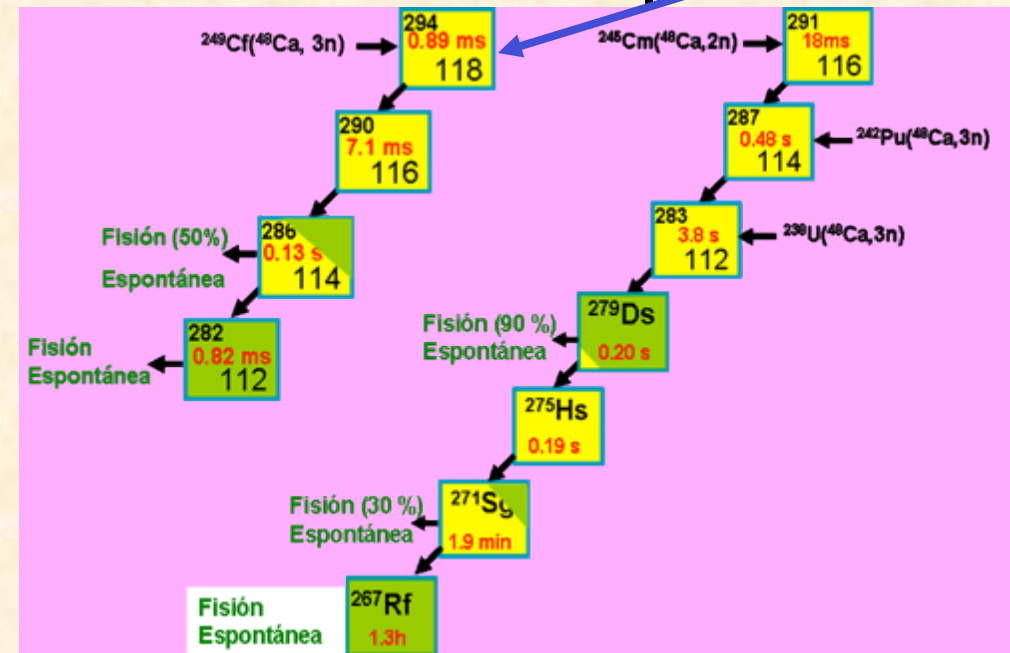
Fusión fría con haces y blancos estables.

- 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 ($A=294$).

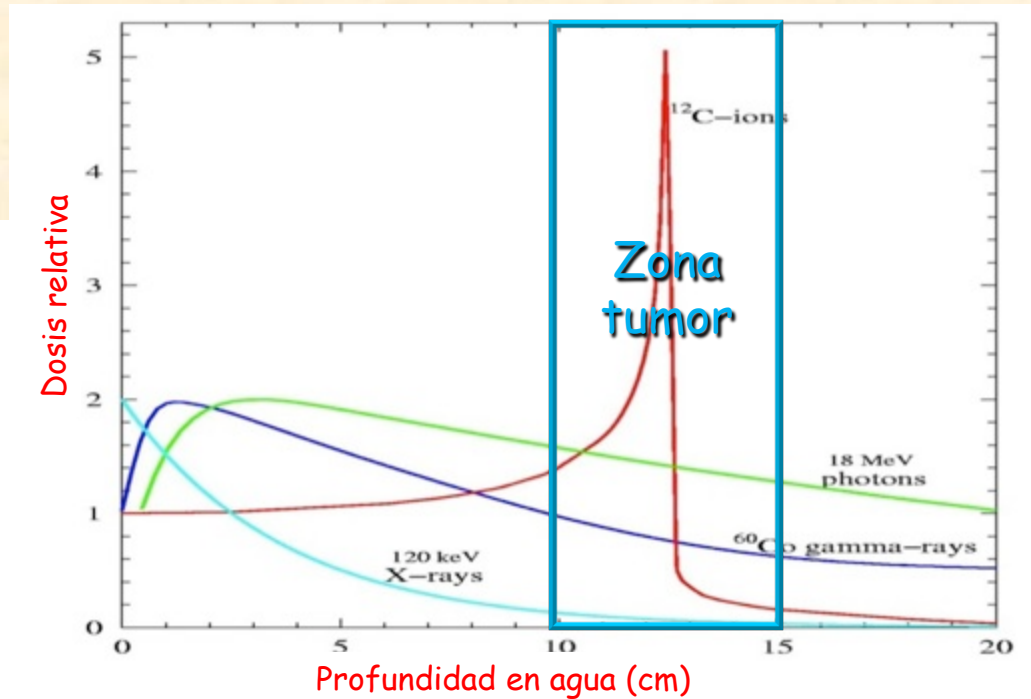
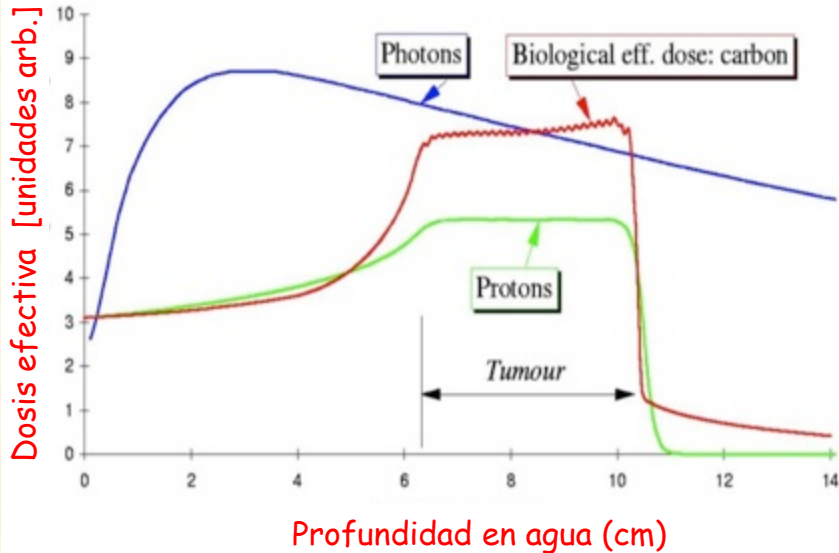
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
1	H																		He			
2	Li	Be															B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg															Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
7	Fr	Ra	Ac	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo					



50 pacientes tratados anualmente desde dic. 1997

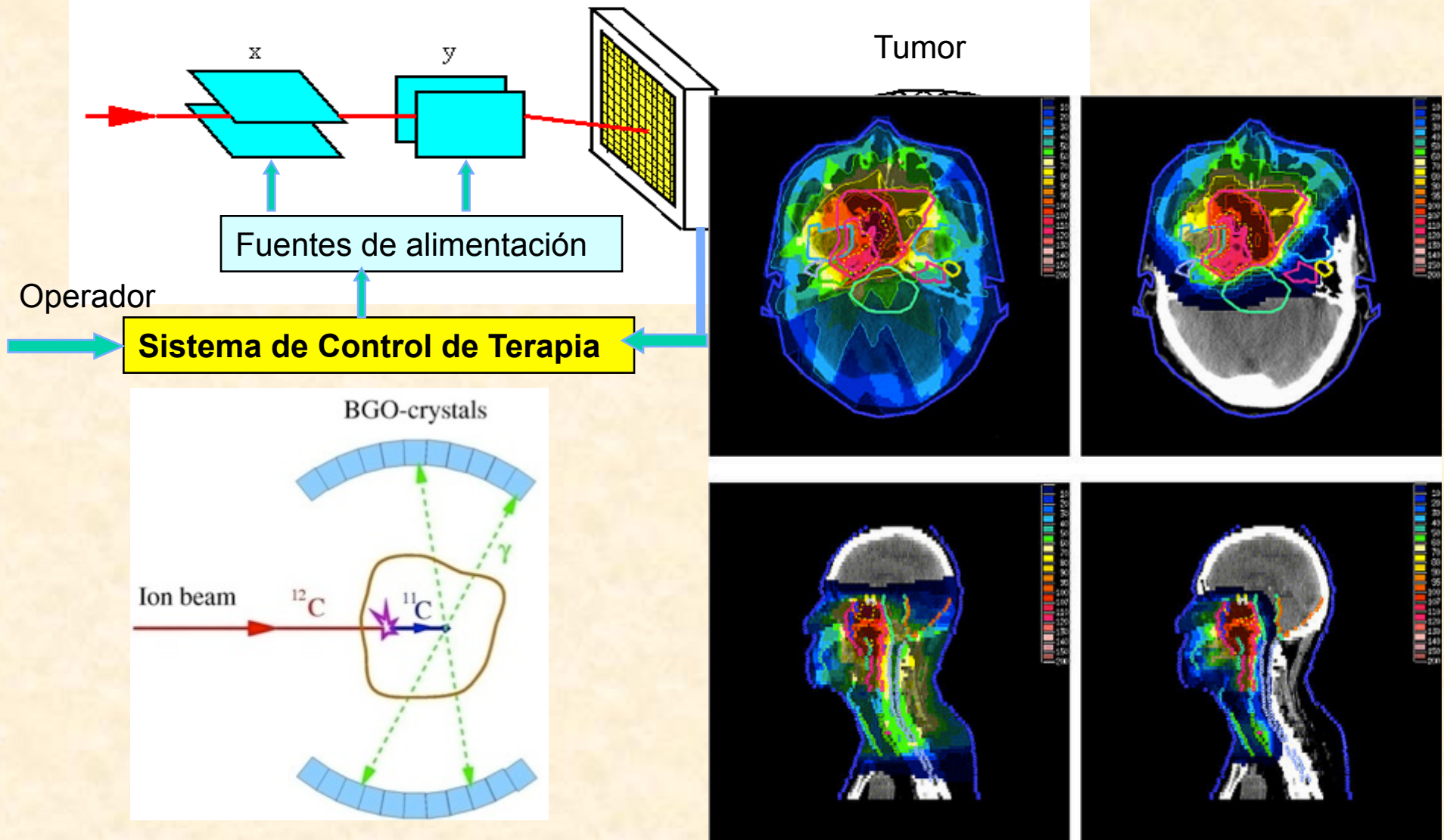


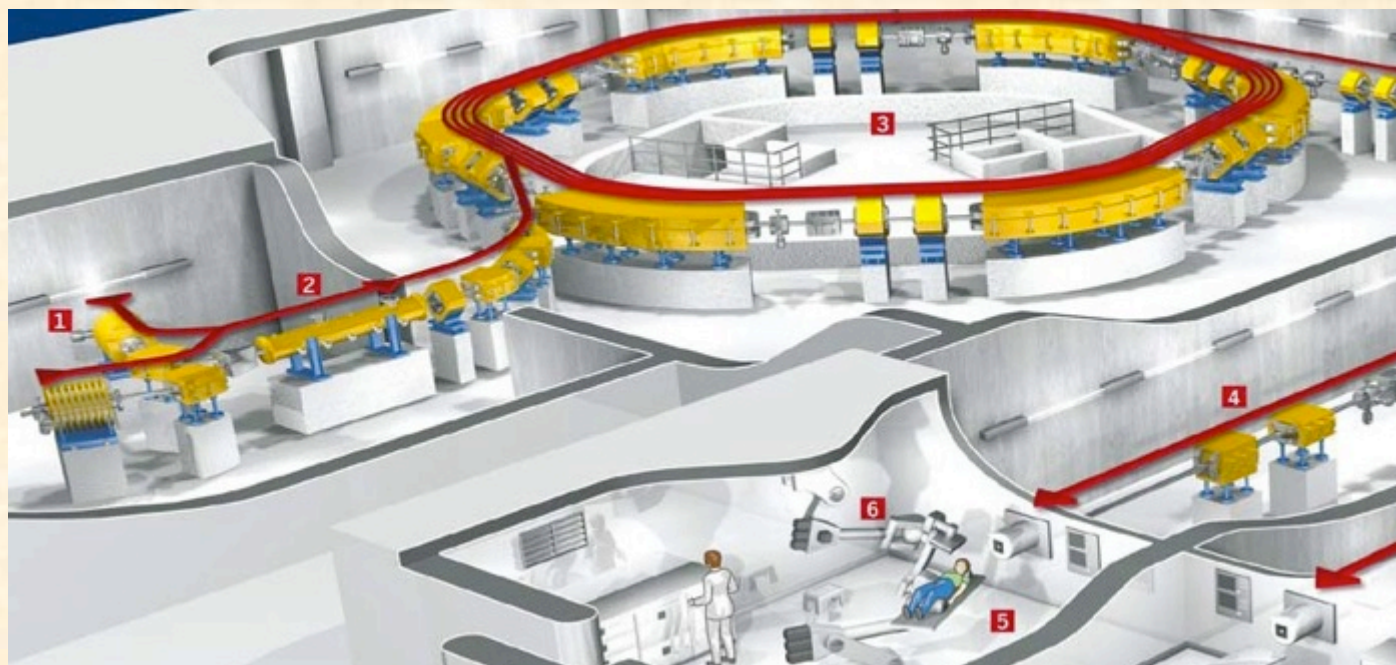
Propiedades clínicas importantes de los iones pesados



Mejora en la eficiencia biológica

Imanes de barrido rápido

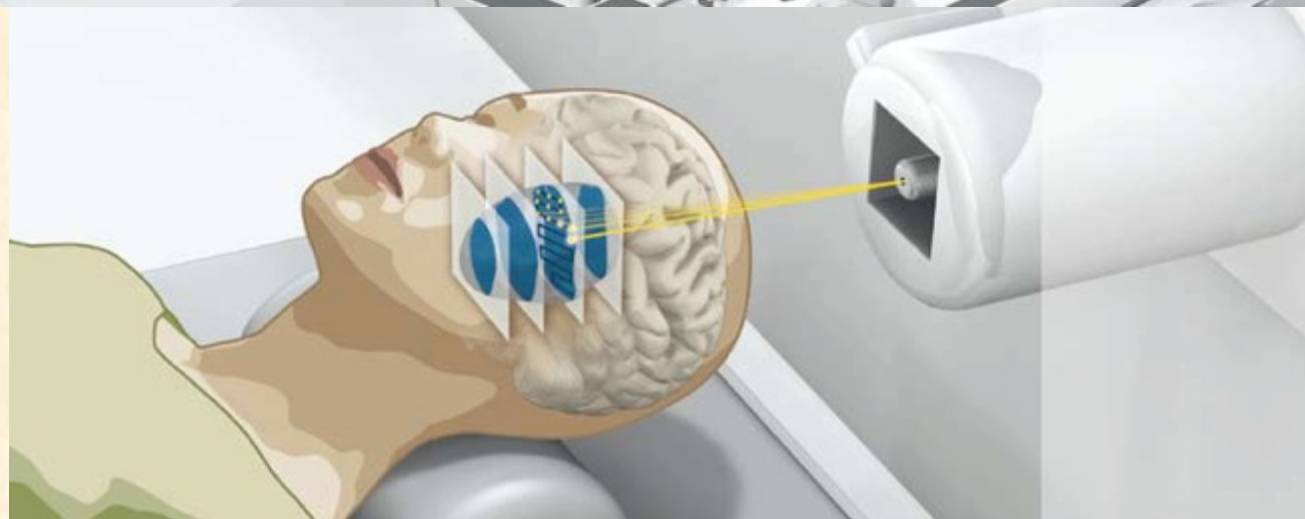




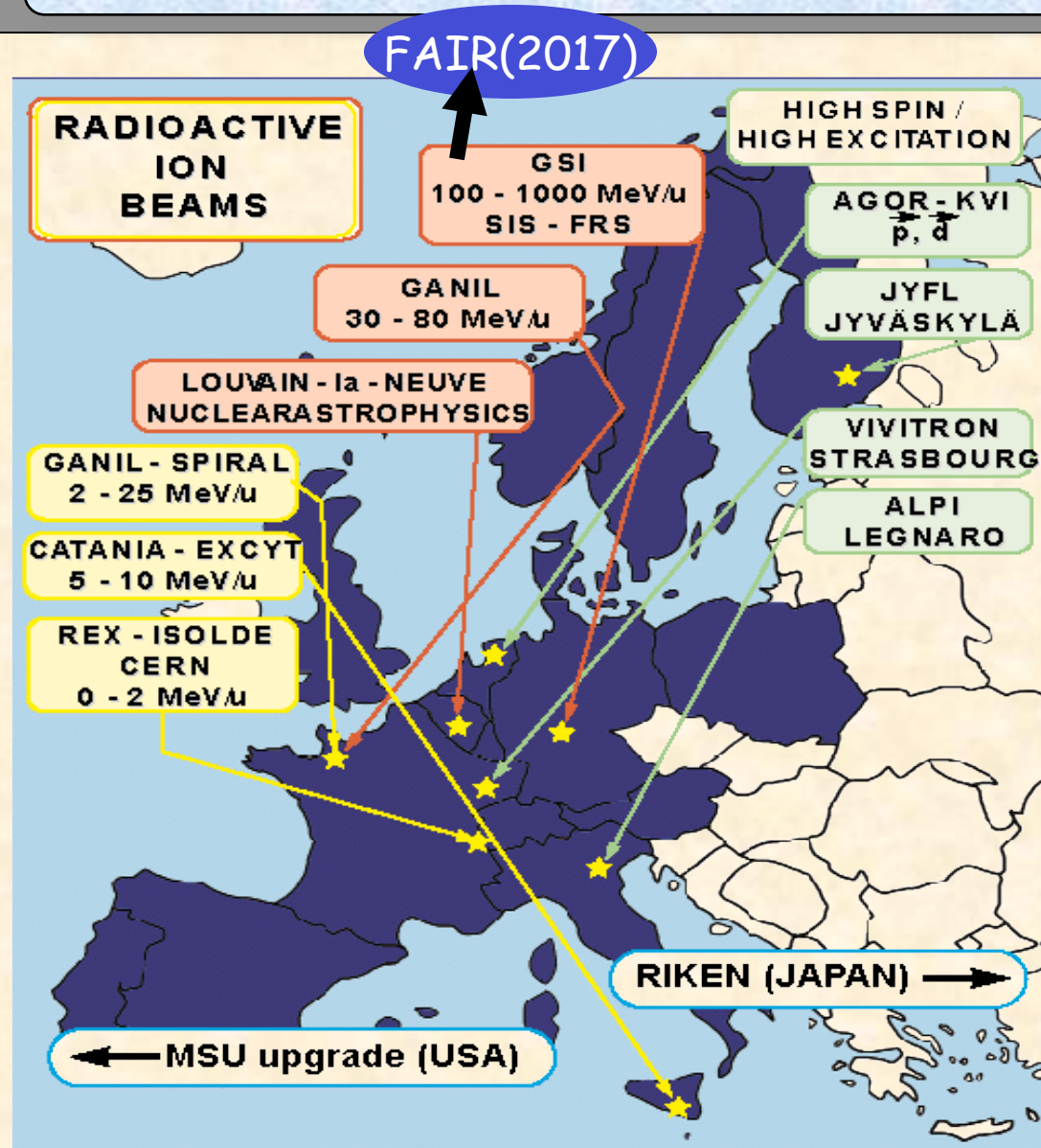
Este centro, realizará terapia con protones e iones pesados.

Tiene permiso para tratar pacientes desde 2 Nov 2009
Esperado: 1300 p/y

Tratará tumores de difícil acceso hasta 30cm.



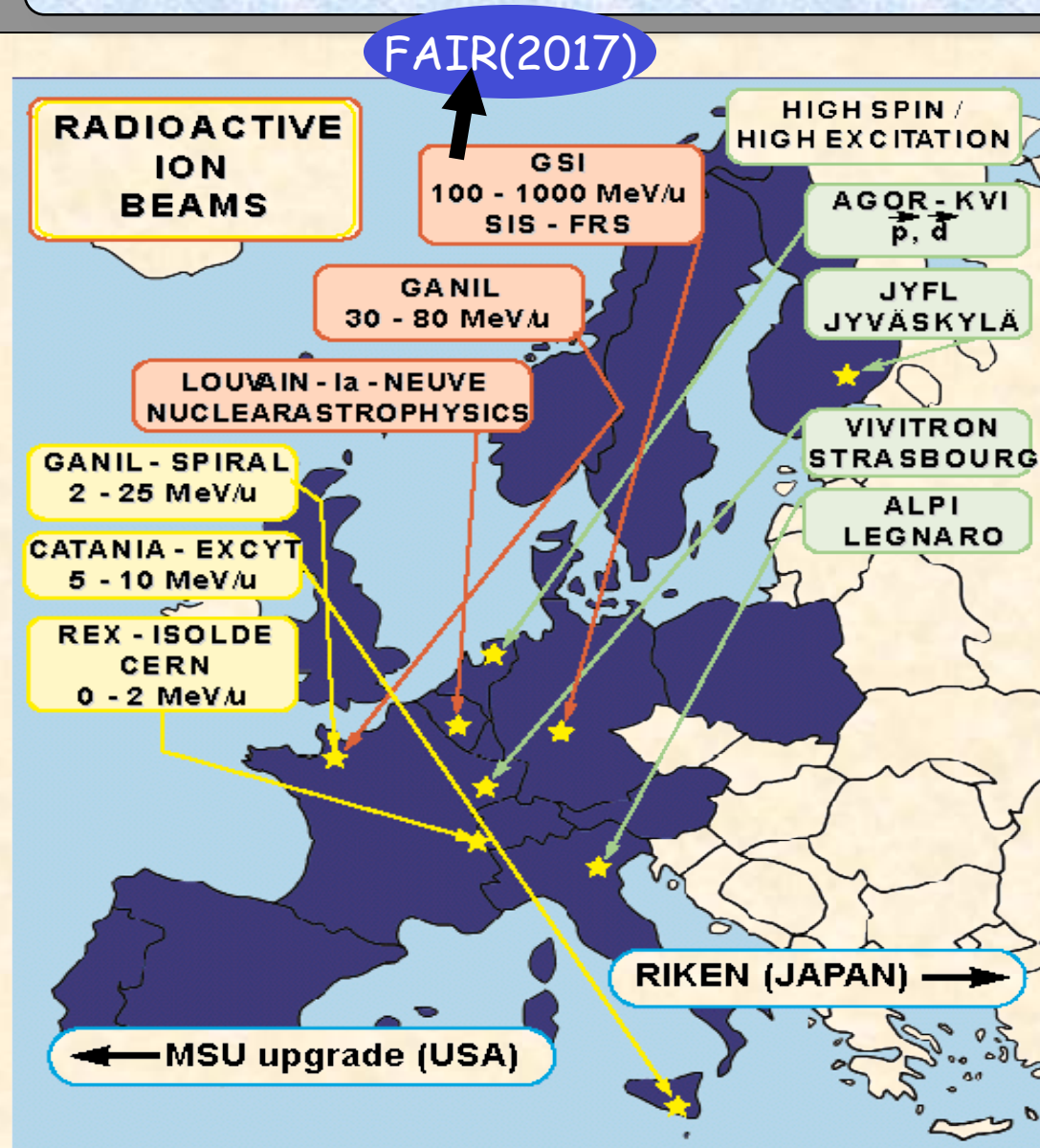
1. Fuente de Iones de CO_2 , libera C_2 ionizado.
2. Acelerador lineal a 10 % de la velocidad de la luz c
3. Síncrotrón acelera iones de C_2 hasta 73 % de c



- En España: ALBA, CMAM y CNA (no aceleran haces radioactivos)

- Instalaciones de haces radioactivos en Europa: CERN, GSI, GANIL...

- En otros continentes: TRIUMF, MSU, RIKEN...



Sin grandes inversiones en desarrollo y mejora de aceleradores y detectores

⇒ El avance será muy difícil

¡Gracias por vuestra atención!

3w.nobel.se/physics/laureates/

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