

Física Nuclear (1): Anatomía de un experimento

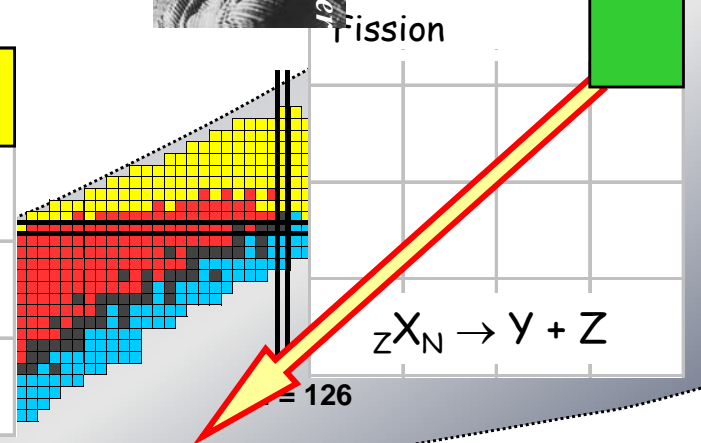
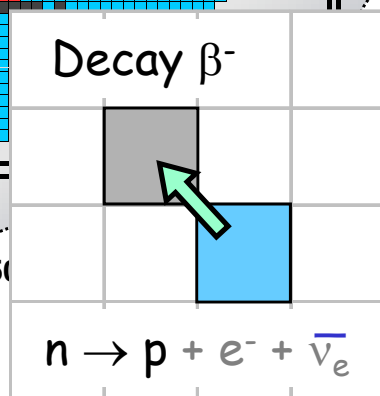
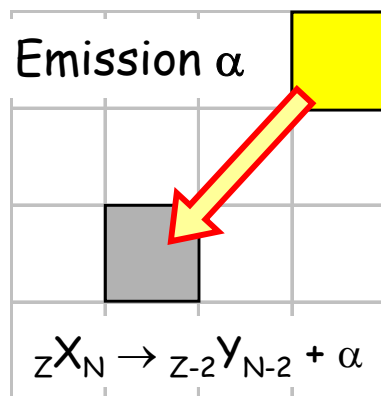
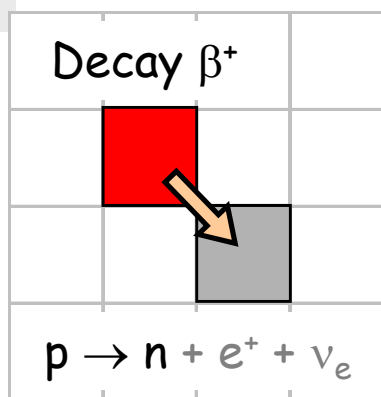
M^a José García Borge

El Paisaje nuclear

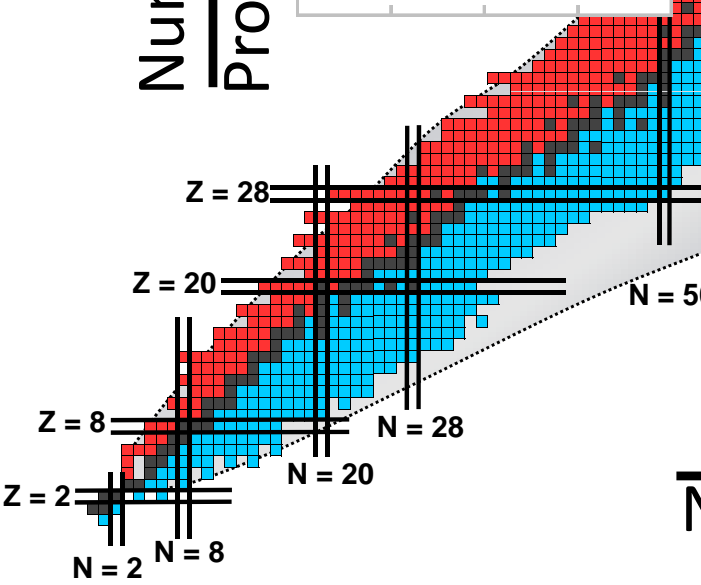


- - Stable Nuclei
- - β^+ / EC
- - β^-
- - α
- - Fission

Numero de Protones, Z



Nucleos ligados



300 estables + primordiales
2700 núcleos producidos en laboratorio

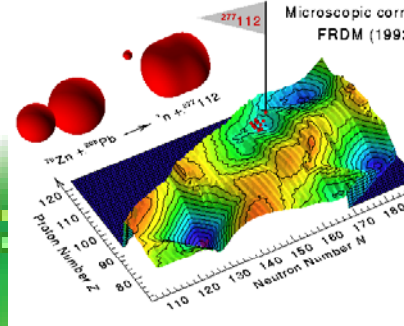
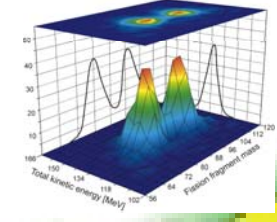
3000 - 5000 a sintetizar hasta alcanzar $S_n = 0$

Numero de neutrones, N

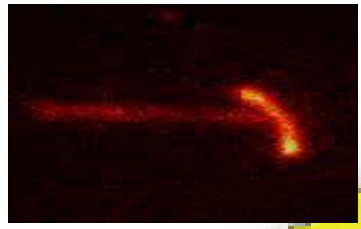
La Física del núcleo: Magnífica Complejidad

Dinámica de Fisión

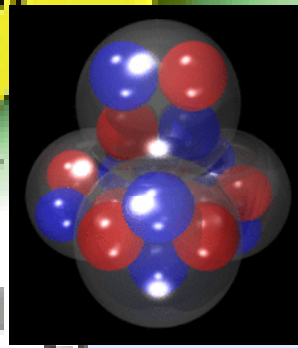
^{220}Ra



Modos exóticos de desintegración

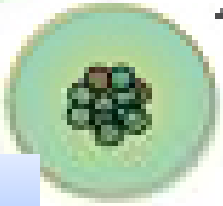


^4He

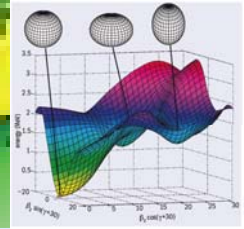


clusters

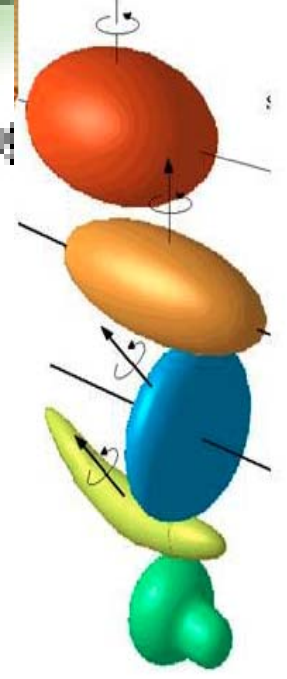
Halo de neutrones



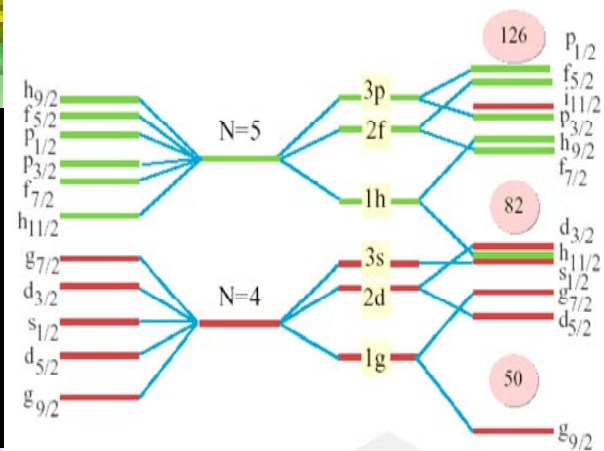
Coexistencia de formas



Superpesados



Formas exóticas



Nuevos N. Magicos

Cuestiones Fundamentales en F. Nuclear?

¿Cómo resulta la complejidad del núcleo a partir de sus constituyentes?

¿Cuáles son los límites de la estabilidad Nuclear?

¿Cómo y dónde en el universo se forman los elementos químicos ?

Observables:

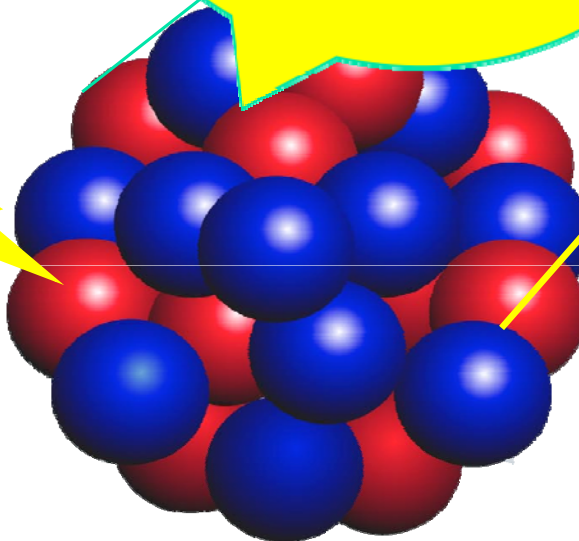
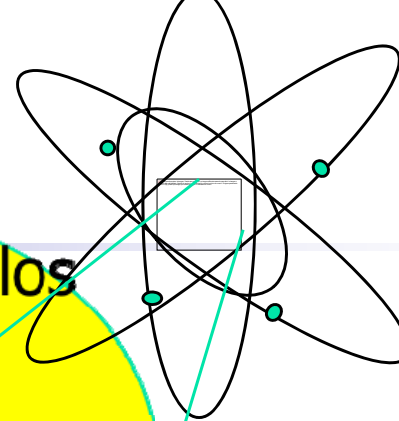
Prop del estado fundamental: masa, radio, momentos J , μ , Q
Tiempo de duracion y proceso de desintegración
Probabilidades de transicion

Modelos teóricos:

Modelo de capas (números mágicos)

Modelos de campo medio (deformación)

Calculos basados en primeros principios (ligeros)



2017

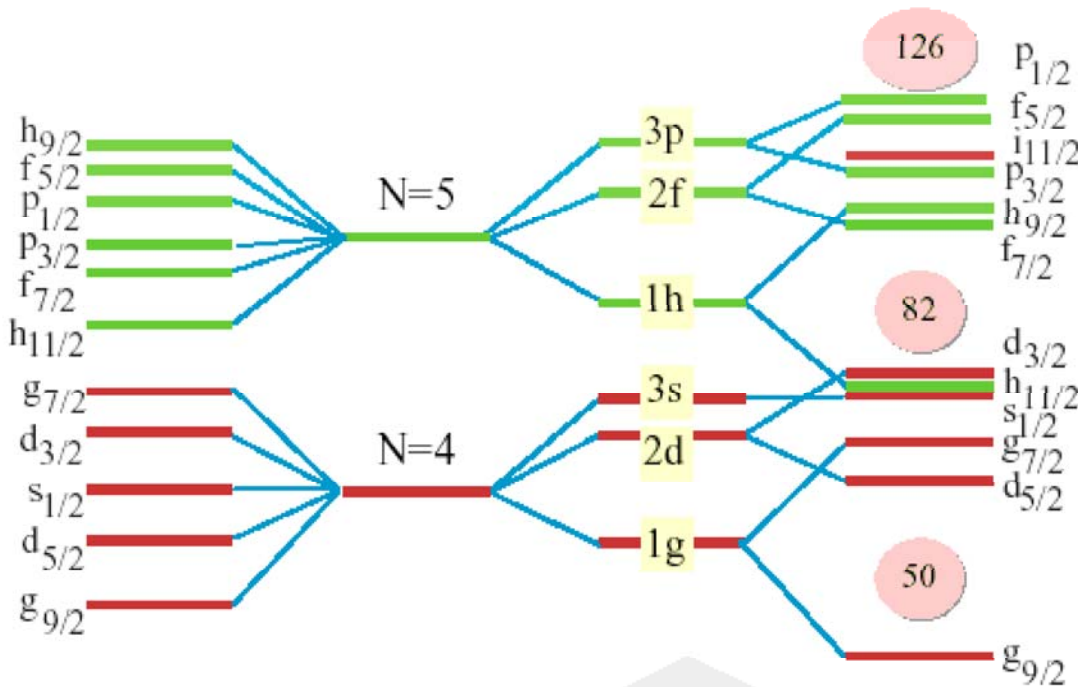
El Modelo de capas y el carácter Universal de los números mágicos

Mayer & Jensen (1949)



El núcleo exhibe estructura de capas

- Capas cerradas= « numeros mágicos»
- Nucleones de Valencia esenciales
- El modelo de capas es la base para explicar la espectroscopia nuclear



very diffuse surface
neutron drip line

harmonic oscillator

no spin orbit
exotic nuclei/
hypernuclei

around the valley of β -stability

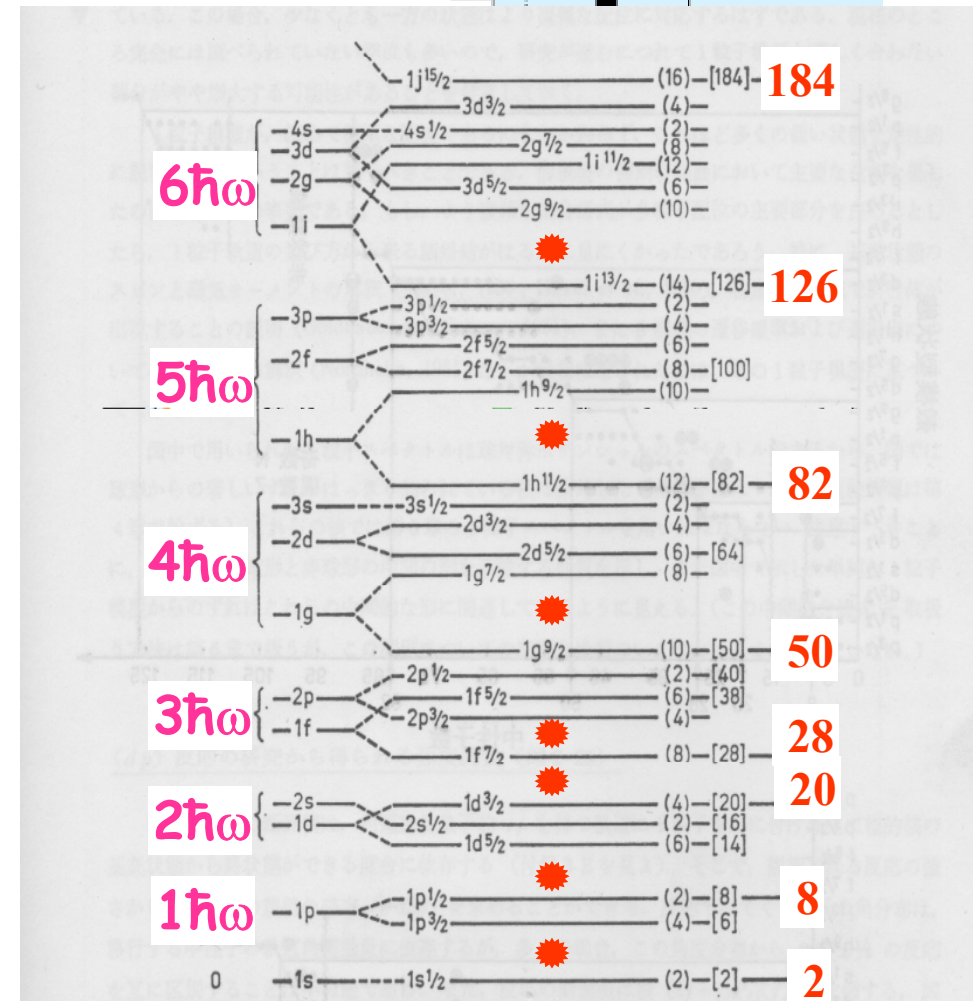
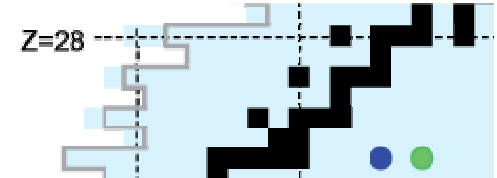
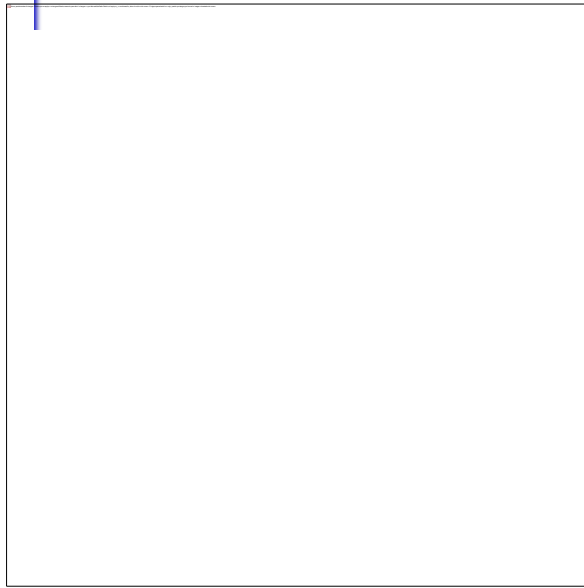
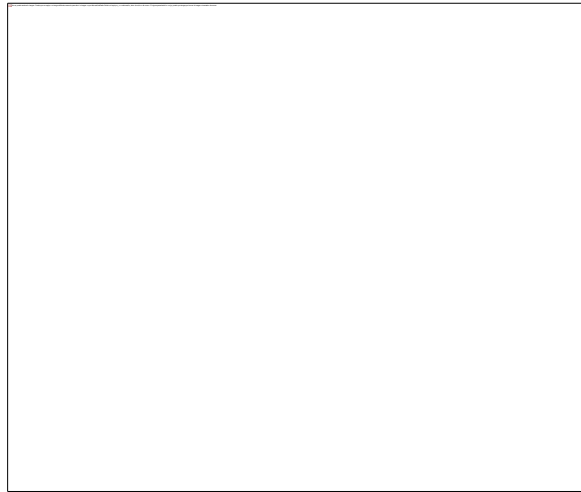


図 2-23 1 粒子軌道の順序. 図は M. G. Mayer and J. H. D. Jensen, *Elementary Theory of Nuclear Shell Structure*, p. 58, Wiley, New York, 1955 からとった.

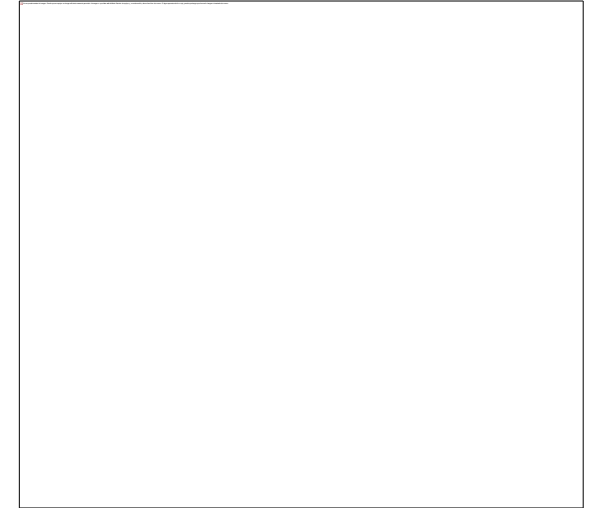
Densidad Nuclear & Asimetria Proton-Neutron



1-2n con energía de enlace muy pequeña



Gran exceso de neutrones



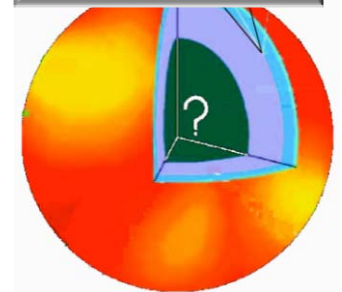
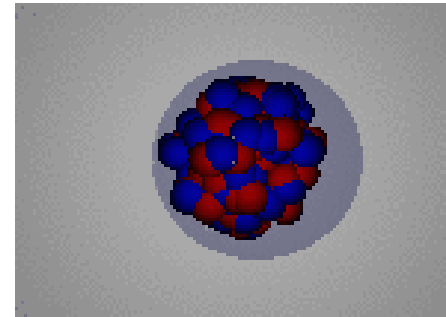
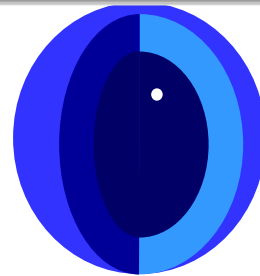
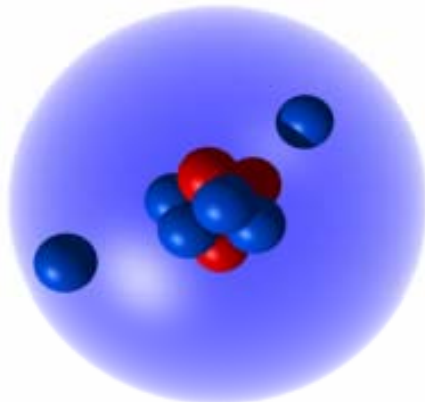
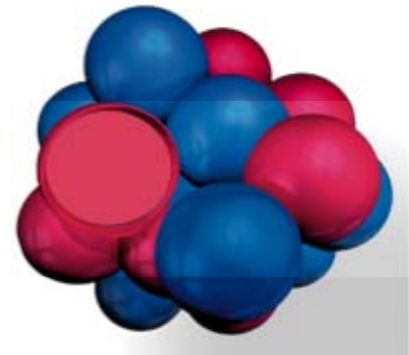
Estable

Halos

Piel de Neutrones

Resonancia Pigmea

Estrella de Neutrones



EOS

¿ Cómo sean formado los elementos mas pesados ? (E. Nacher)

- Protones & Neutrones producidos 10^{-6} s – 1s despues del Big Bang (hace 13.7×10^9 años)
- H, D, He, Li, Be, B formados 3 - 20 min despues del Big Bang
- Los núcleos mas pesados se forman a lo largo de la vida de la estrella

rp-, p-process:

- masses, Q_b at & beyond the proton drip-line
- (p, γ) , (γ, p) rates



s-Process
Avanza en núcleos estable por captura neutrónica

Neutros
captura

Tin
50



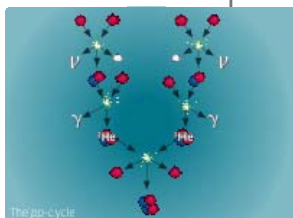
neutron star merger

"Rapid process" via unstable neutron-rich nuclei

proceso-r:

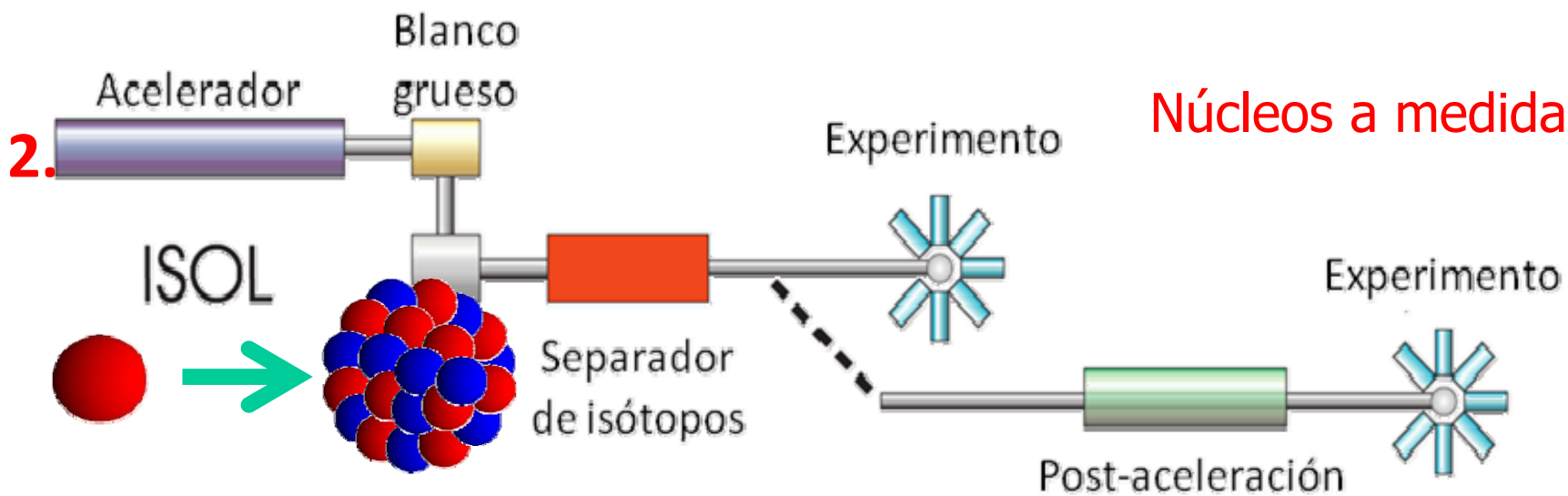
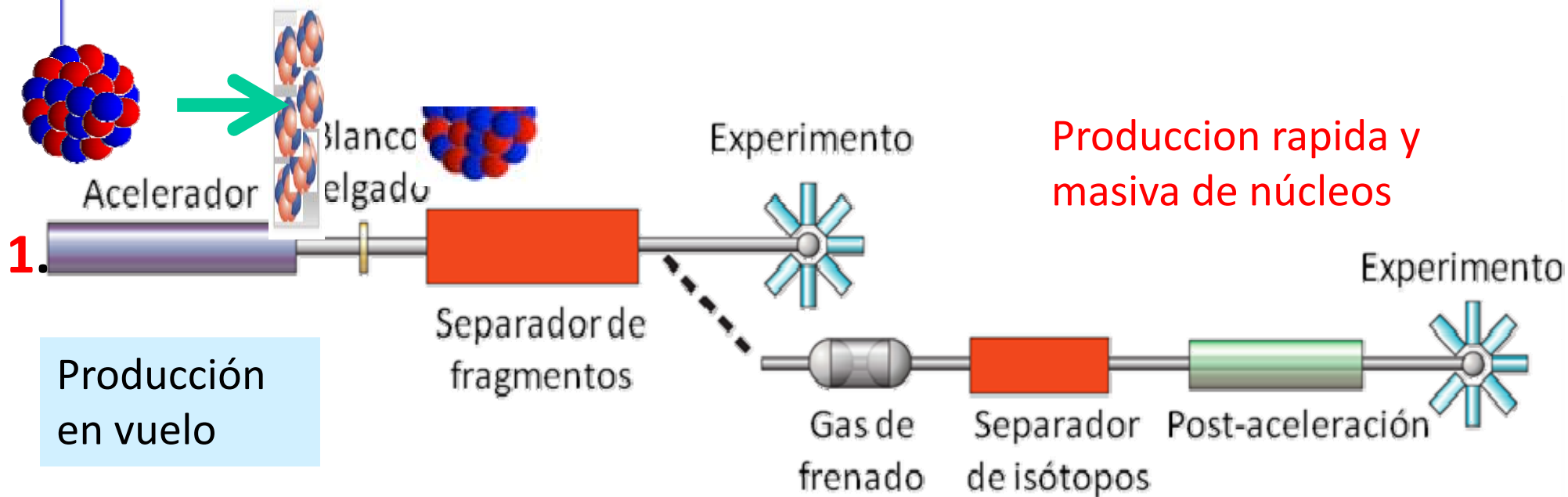
- masas, vidas-medias
- β -n
- (γ, n) , (n, γ) rates
- Estructura de capas

Neutron dripline
(edge of nuclear stability)



→ Datos precisos de Física Nuclear en combinación con observaciones y modelizaciones astronomicas permiten **fijar los escenarios astrofísicos**

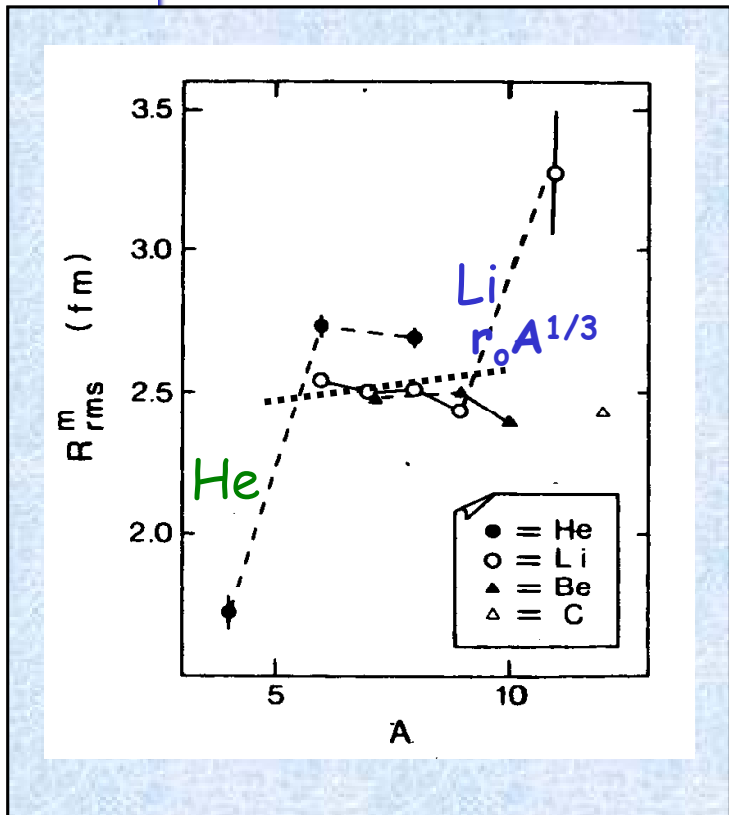
Producción de isótopos artificiales



Instalaciones de haces radiactivos



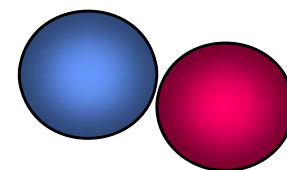
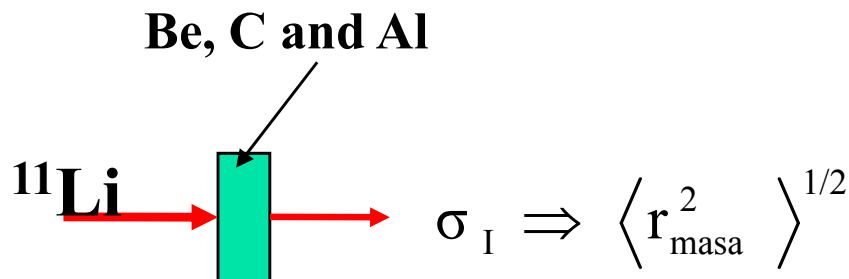
¿Qué ocurre en el límite de estabilidad neutrónica?



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



Tanihata

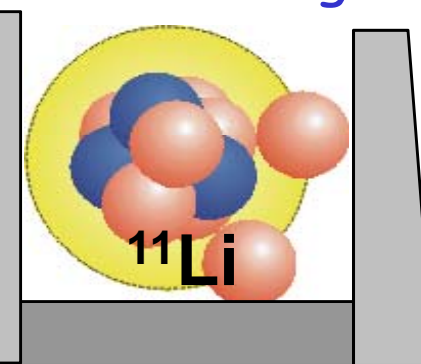
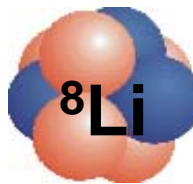


Deuterio

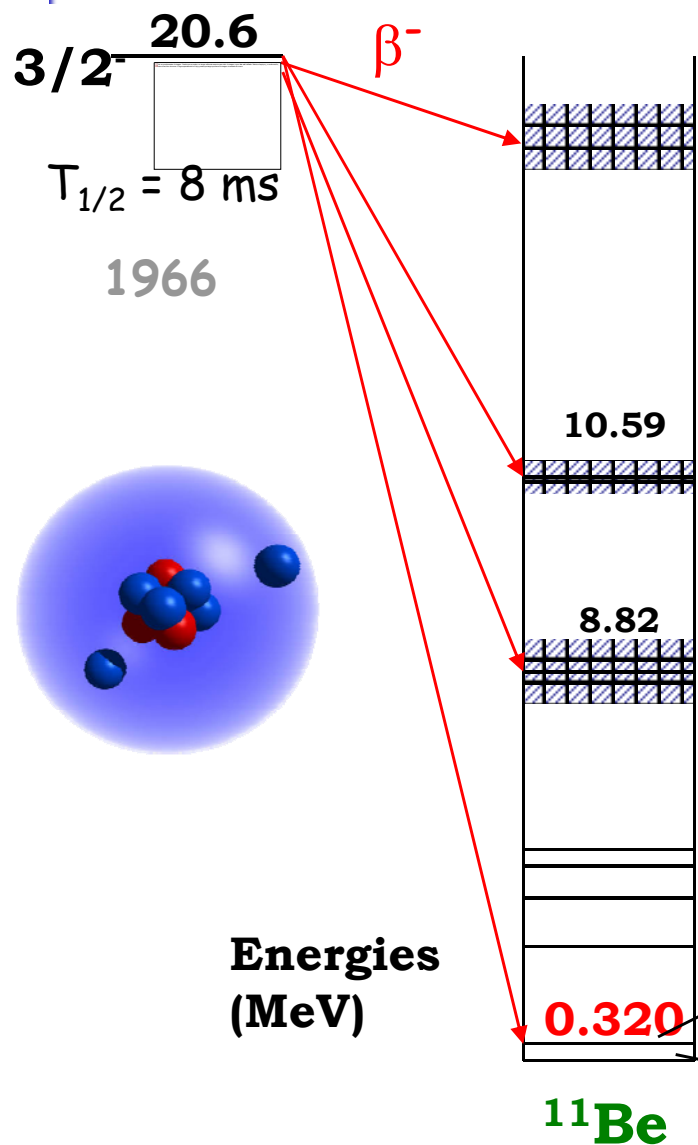
$$\sigma_I(p, b) = \pi [R_I(p) + R_I(b)]^2$$

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

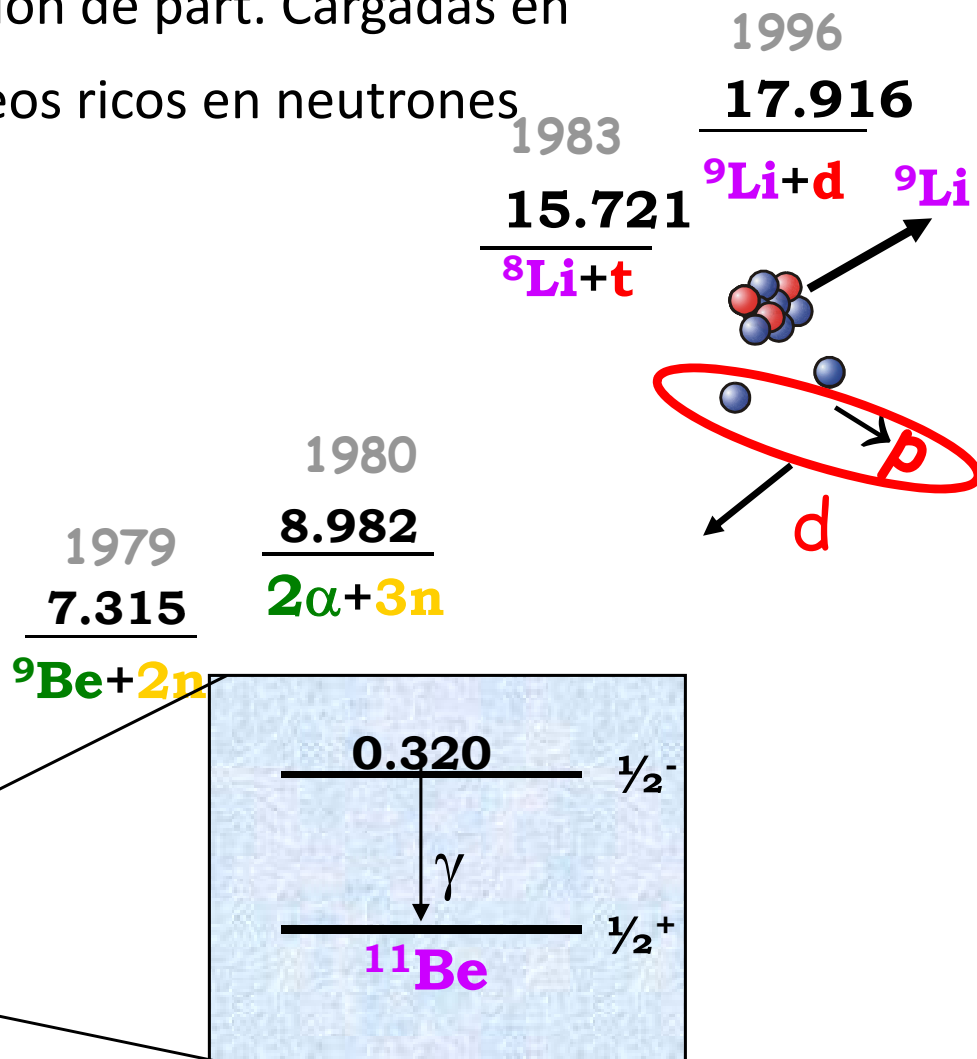
¿Por qué su radio de masa es tan grande?



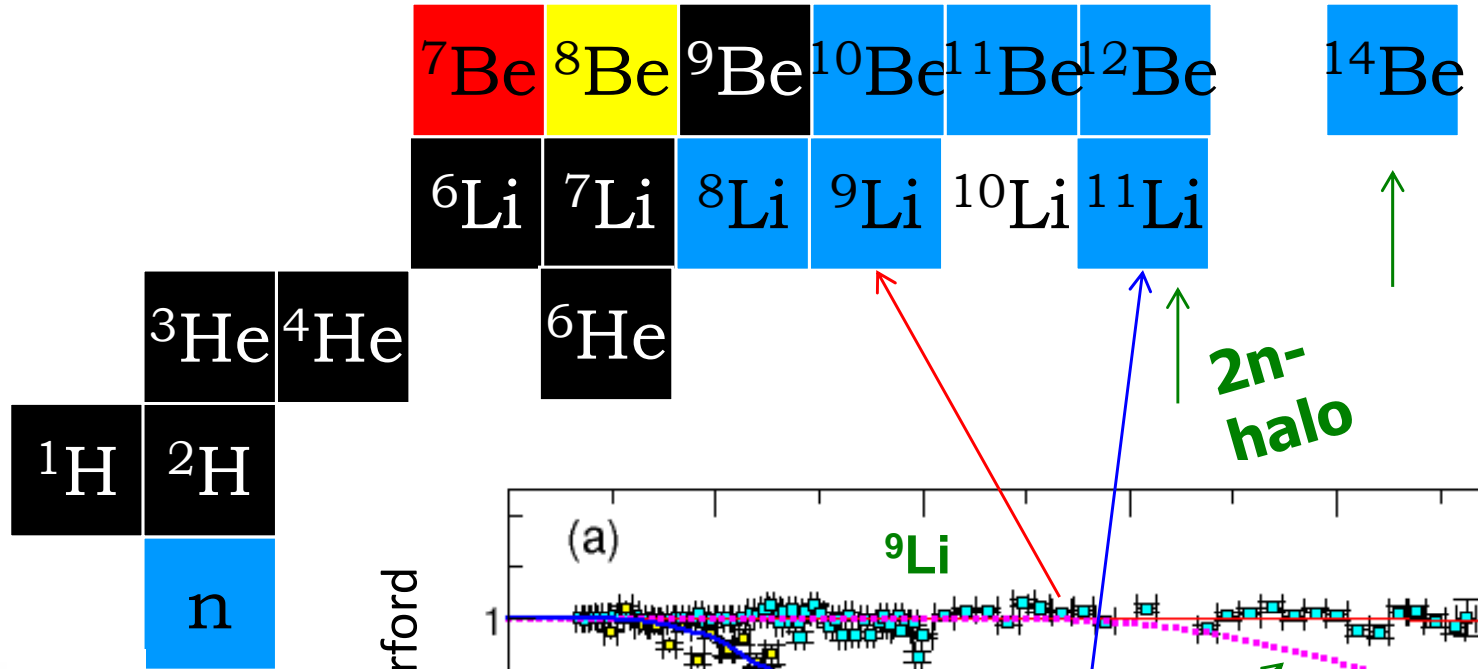
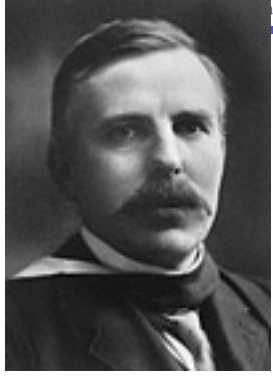
Desintegración beta de un núcleo exótico



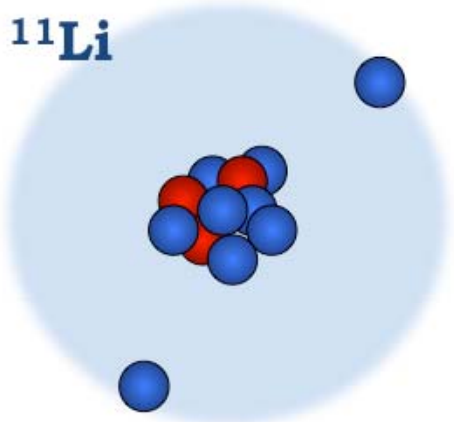
- Muchos modos de desintegración
- Emisión de part. Cargadas en núcleos ricos en neutrones



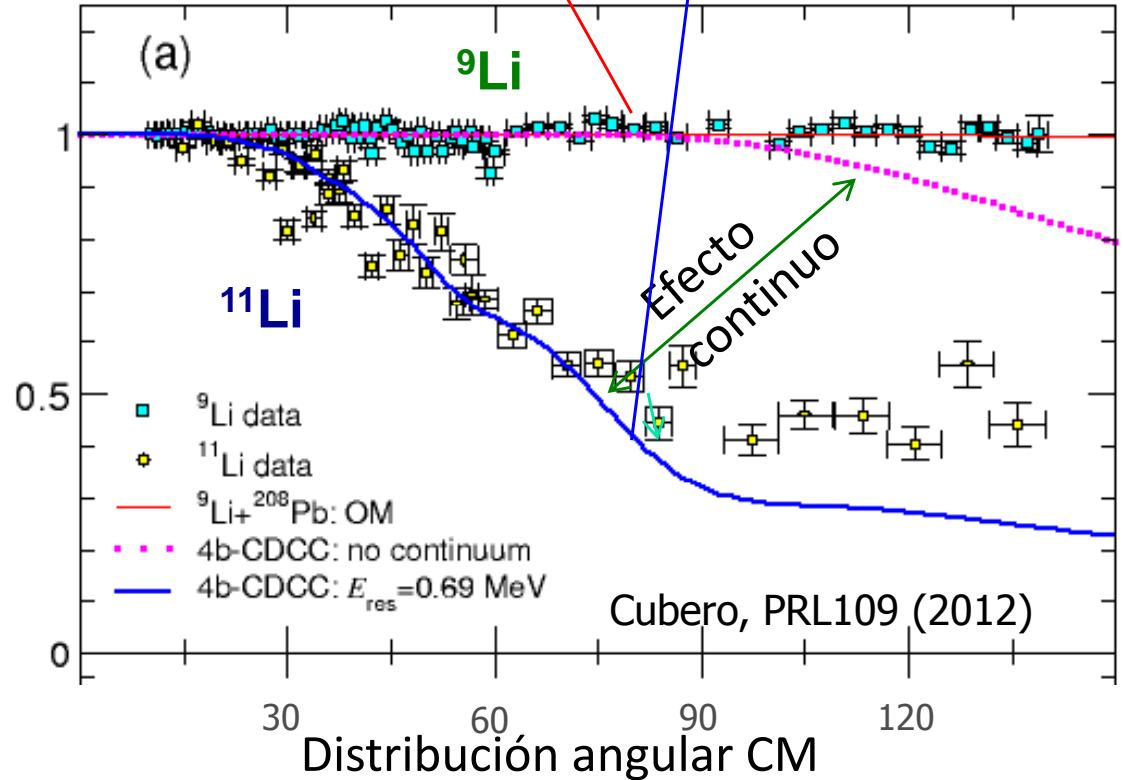
¿Núcleos Halo y Reacciones ?



^{11}Li

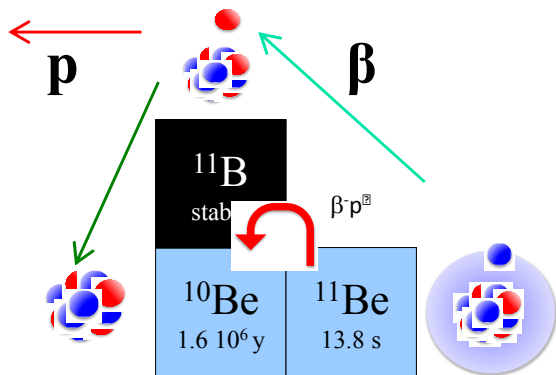


Sección eficaz / Rutherford



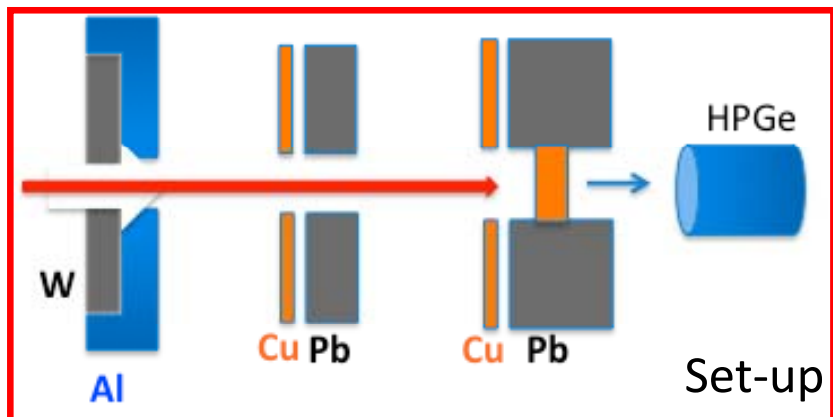


βp in halo ^{11}Be nuclei: Quasi-free $n \rightarrow p$ decay



- ✓ βd observed in ^6He & ^{11}Li halo nuclei decay directly to the continuum \rightarrow simpler mode in 1n-halo nuclei $\rightarrow \beta p$
- ✓ ^{11}Be best case to search for βp , $Q_{\beta p} = 280.7 \text{ keV}$
- ✓ Expected B.R. 10^{-8} assuming direct decay
D. Baye & Tursonov, Phys. Lett. 696 (2011) 464
- ✓ Previous attempt gave inconclusive result with
BR = $2.5(25) \times 10^{-6}$; Borge et al., J. Phys G 40 (2013) 035109

A 200 keV 10^{-8} proton branch is challenging to detect \rightarrow Detect ^{10}Be daughter by AMS



- Contaminations measured to be negligible.
- B.R. = $8.4(6) \times 10^{-6}$ **Consistent with previous results**
- New Resonance identified in $^{11}\text{B} \rightarrow \text{OTPC}$

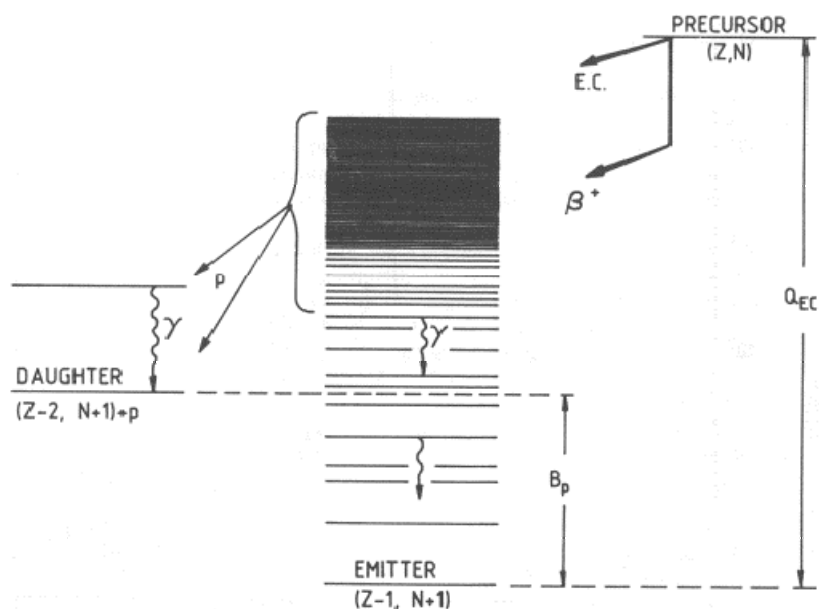
❖ The new decay mode is consequence of **halo structure**, peripheral decay of the neutron halo + **intense super allowed transition** near Q-value observed in other neutron rich drip line nuclei. Riisager et al, Phys Lett. B732 (2014) 305

Emisión retardada de partículas

✚ **1963** Barton & Bell en McGill (Canada) identificaron ^{25}Si como el primer precursor de emisión de protones.

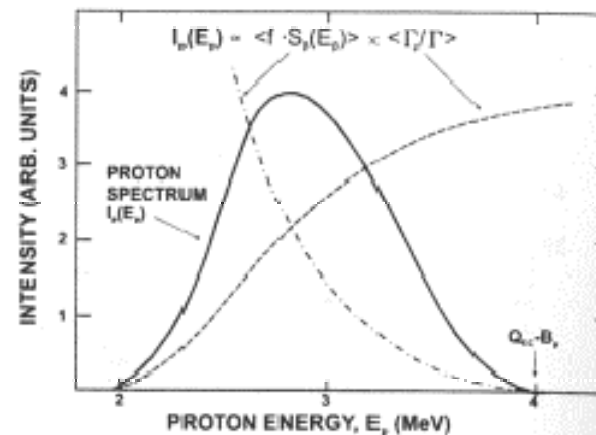
✚ La energía de la partícula depende de:

- 1-Intensidad beta del precursor
- 2-probabilidad de emisión de part. Frente a gammas.



$$I_p^{if} = I_\beta^i \frac{\Gamma_p^{if}}{\Gamma^{if}}$$

✚ Para precursores más pesados, I_p^{if} se promedia sobre el rango de energía con forma de campana.



31Ar, al borde de la estabilidad: 18p + 13n



$$E_{IAS} = 12322(2)(50) \text{ keV}$$

$$Q_{EC} = E_{IAS} + \Delta E_c - \Delta n_p$$

$$\Delta E_c = 7045 \text{ keV}$$

$$Q_{EC} = 18,49(11) \text{ MeV}$$

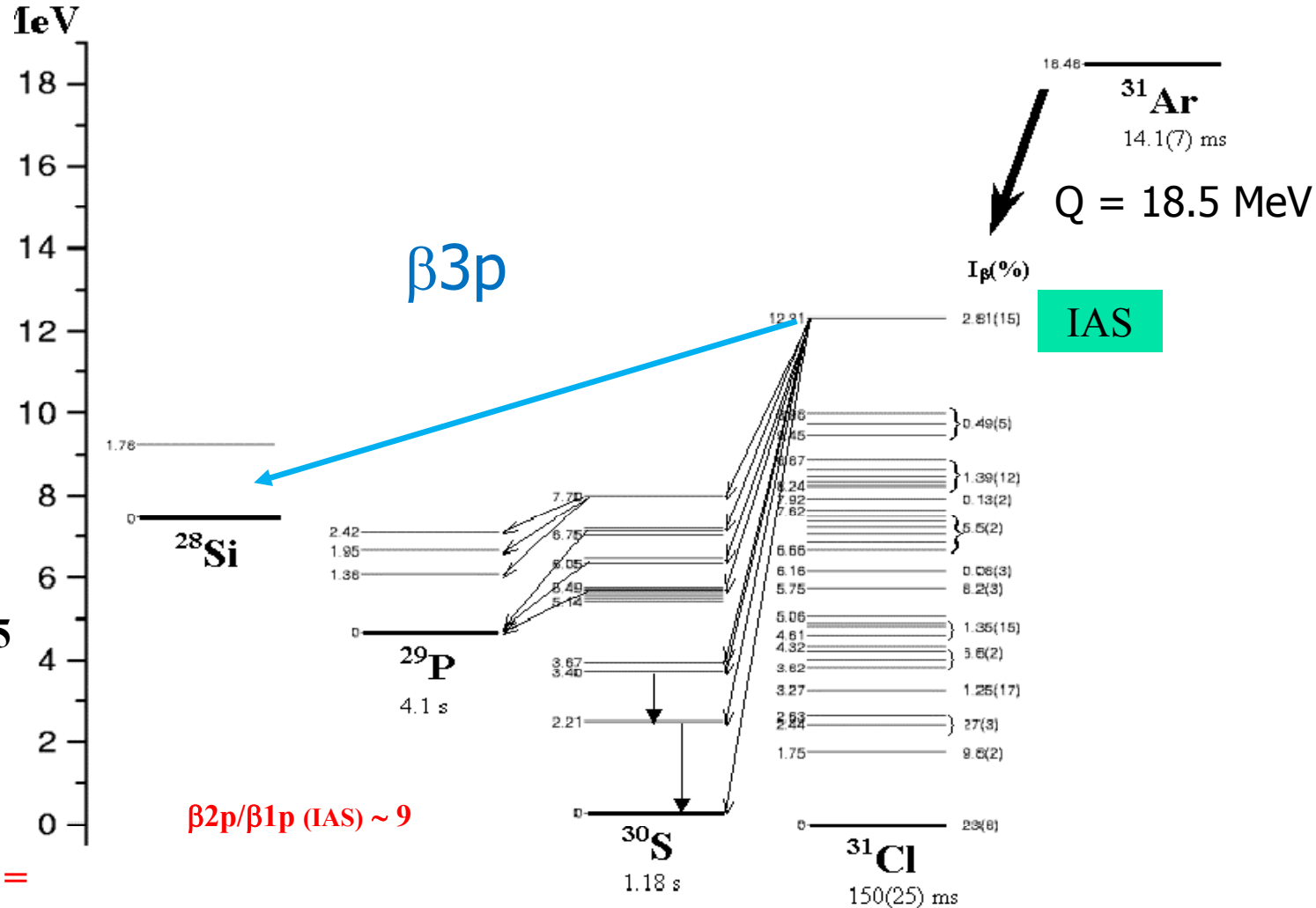
$$f(E_{\beta IAS})t_{IAS} = 6145(4) \text{ s} / [B(F) + B(GT)]$$

$$\text{b.r.}(IAS) = T_{1/2} / t_{IAS}$$

$$B(F) = [T(T+1) - T_{zi}T_{zf}] \delta_{if} = 5$$

$$\text{Expected b.r. (IAS)} = 4.35(31)\%$$

$$\text{Experimentally: b.r. (IAS)} = 4.25(30)\%$$



Radiografía de un Experimento

Etapas en la investigación en F. N. Experimental



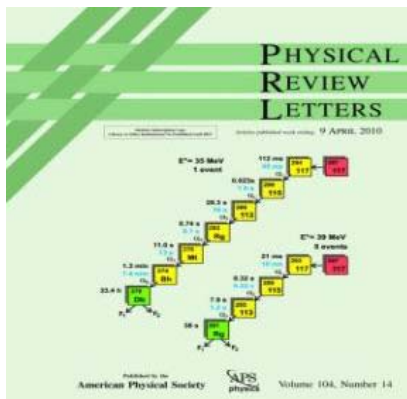
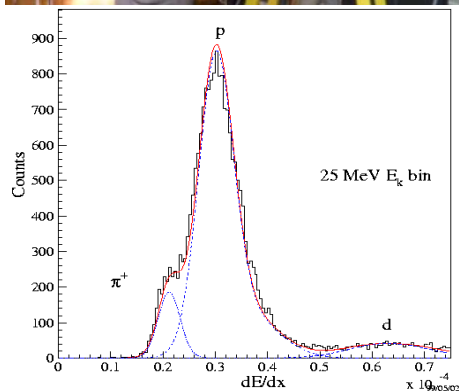
• ANTES DEL EXPERIMENTO

- Propuesta → Interés físico y viabilidad → Simulaciones MC
- Presentación por escrito → Defensa ante un comité científico.



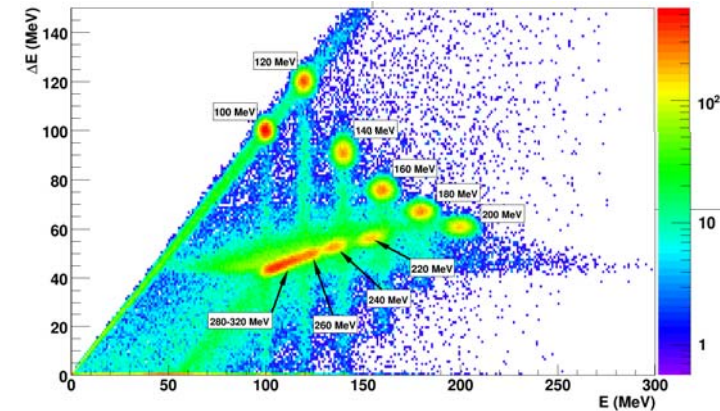
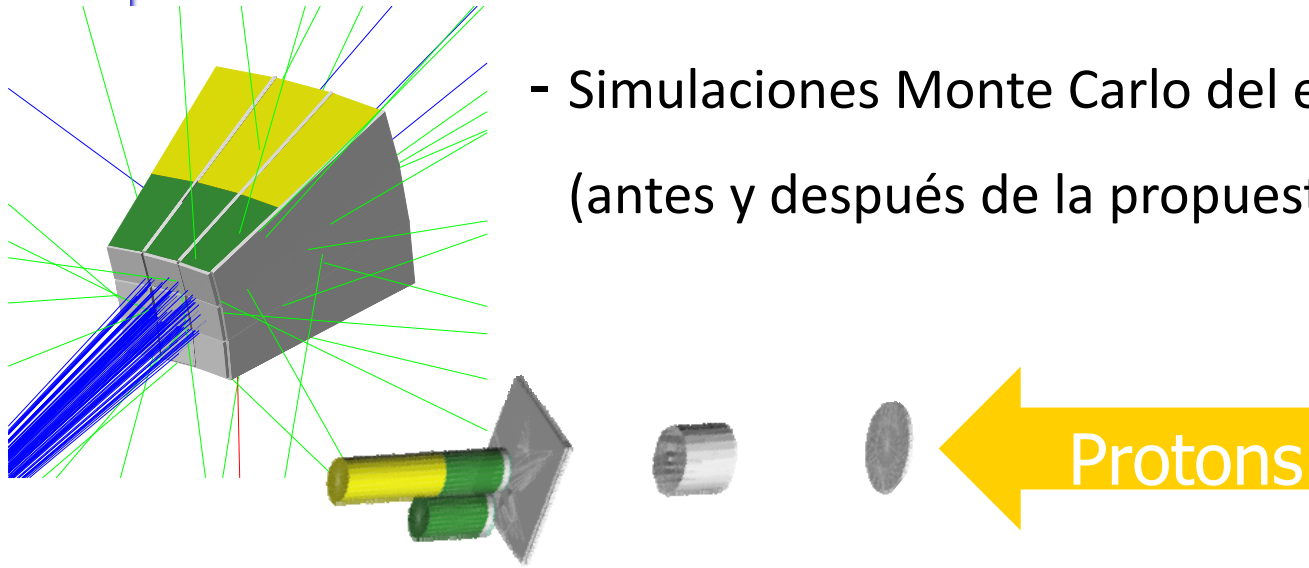
• DURANTE EL EXPERIMENTO

• DESPUÉS DEL EXPERIMENTO

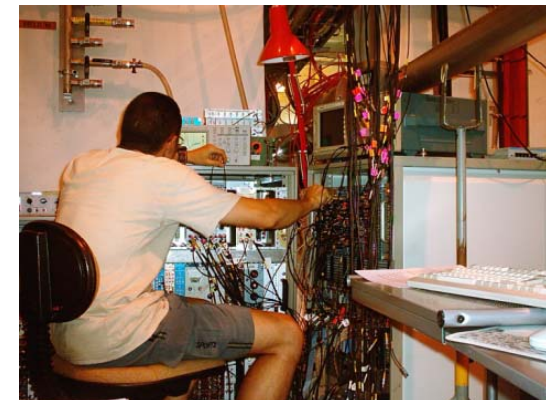


ANTES DEL EXPERIMENTO

- Simulaciones Monte Carlo del experimento, detectores ... (antes y después de la propuesta)



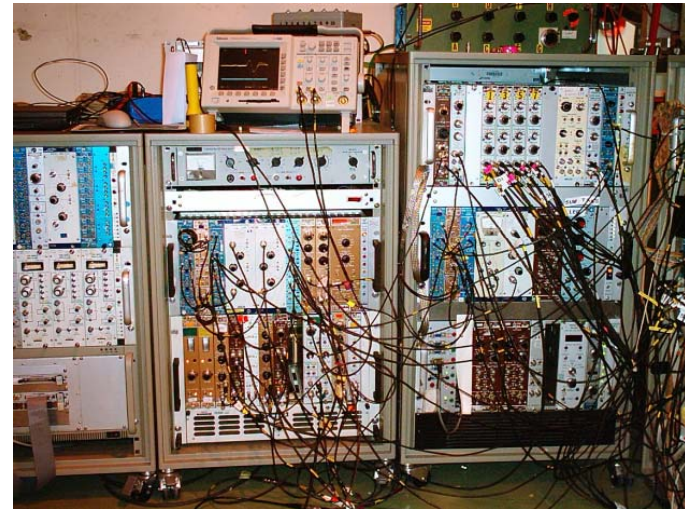
- Preparación/Caracterización de detectores/electrónica/sistema de adquisición de datos



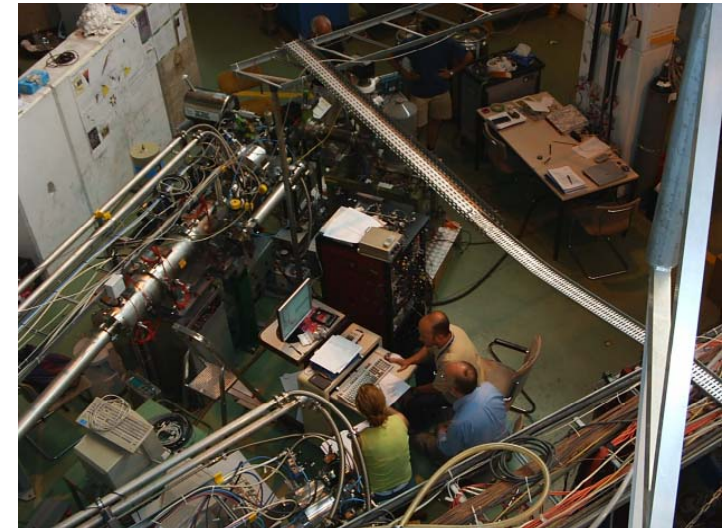
Etapas en la investigación en F. N. Experimental

DURANTE EL EXPERIMENTO

- Montaje experimental 'in situ' 10 días-1 mes (ISOLDE, GANIL, GSI, TRIUMF..)

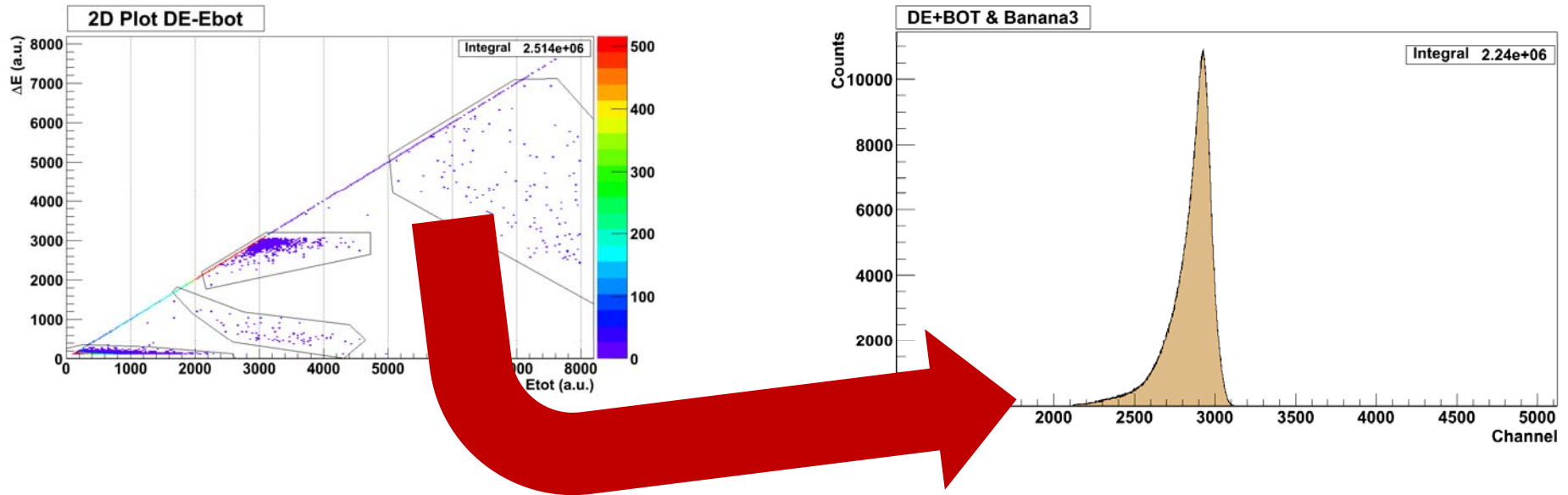


- Medida con haz: 'beam time' →
- Trabajo en turnos de 8h durante 1 semana (?)



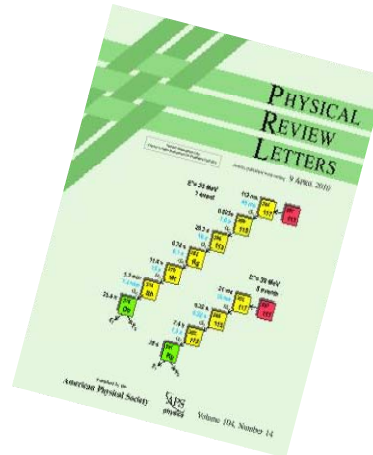
DESPUÉS DEL EXPERIMENTO

- Análisis de datos



- Divulgación de los resultados:

- publicaciones y conferencias



1) Antes del Experimento

- Interés físico y viabilidad → **Defensa ante un comité científico.**
- Simulaciones Monte Carlo del experimento, detectores ...
- Preparación de detectores, electrónica, sistemas de adquisición ...

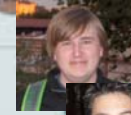
2) Durante el Experimento

- **Traslado de material al laboratorio correspondiente**
- **Montaje experimental (1 semana... 4 meses... años...)**
- **Medida con haz (1 semana)**

3) Después del Experimento

- Preparación de software y análisis (meses...)
- **Publicación de artículos y presentación en conferencias**

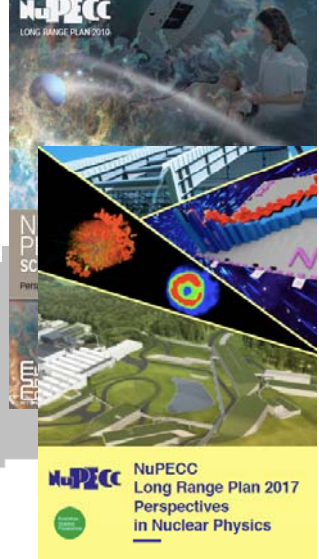
DOCTORES 2010 - 2015



Gracias por vuestra atención

Preguntas Fundamentales

- ¿Cómo se forma un núcleo a partir de sus contituyentes?
 - La interacción fuerte en el medio nuclear
- ¿Cómo explicar las propiedades colectivas a partir del comportamiento individual?
 - Prop. colectivas versus individuales
- ¿Por qué aparecen regularidades en sistemas tan complejos?
 - Identificación de simetrías



LRP 2010

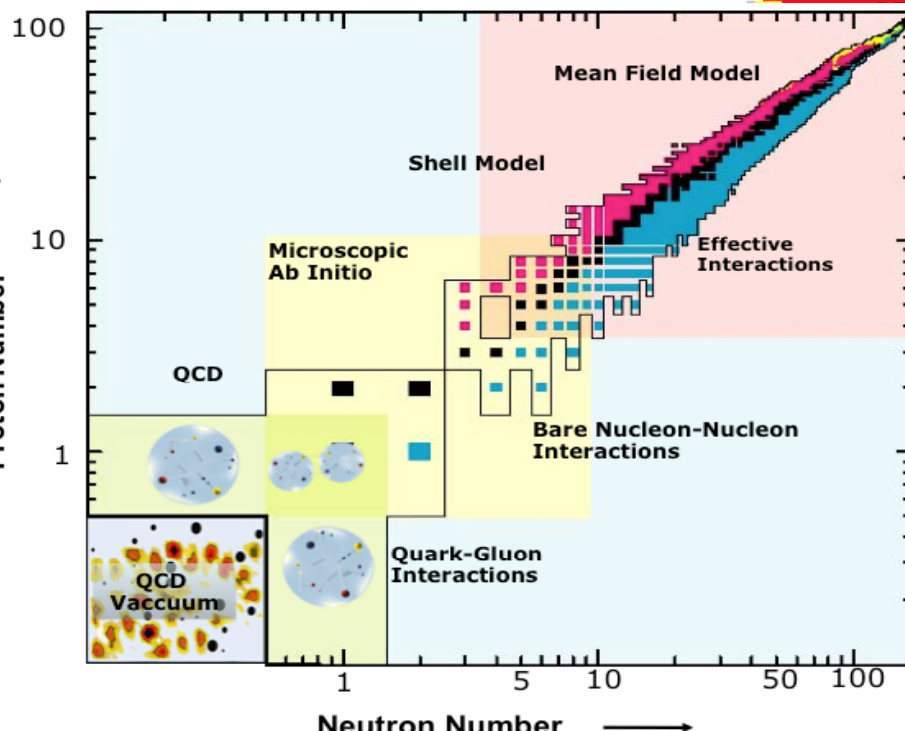
Observables: LRP 2017
 Prop del estado fundamental: masa, radii, momentos J, μ, Q
 Tiempo de duracion y proceso de desintegración
 Probabilidades de transición

Modelos teóricos:

Modelo de capas (números mágicos)

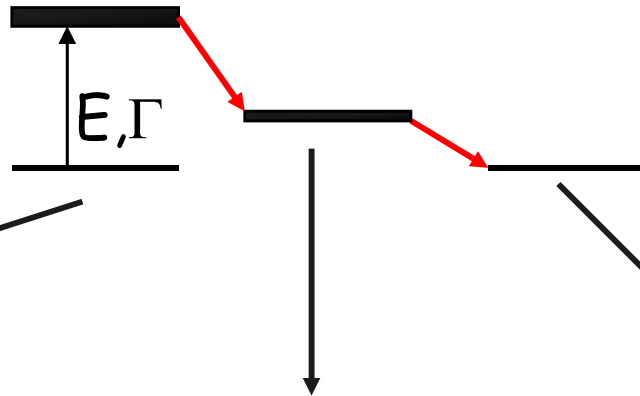
Modelos de campo medio (deformación)

Calculos basados en primeros principios (ligeros)



¿Preguntas?

¿Qué es? :



- E, Γ ?

- Difícil de medir

- Spin-parity?

- Reglas de selección

- ¿Estructura del estado?

- Cluster states

- Many-body states

- Mecanismo de ruptura?

- ¿Secuencial or directo?

- Importancia de los distintos canales

- Relación con estructura del estado

- Espectro

- Asimptótico

- Observables

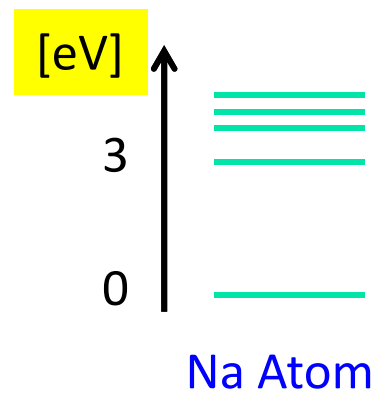
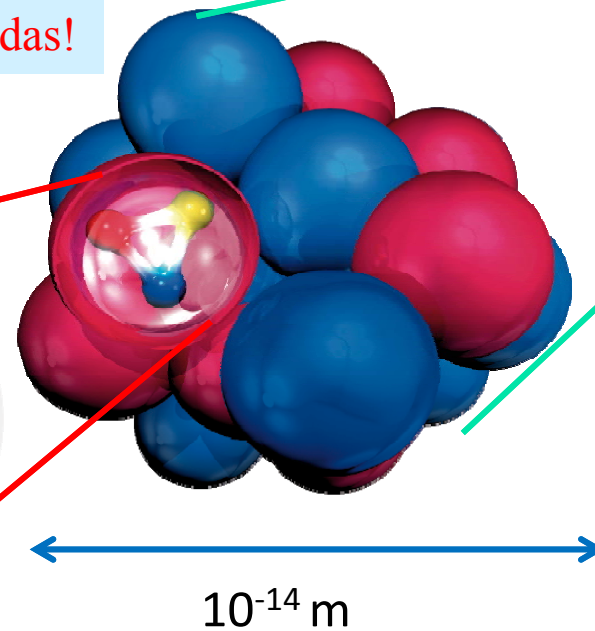
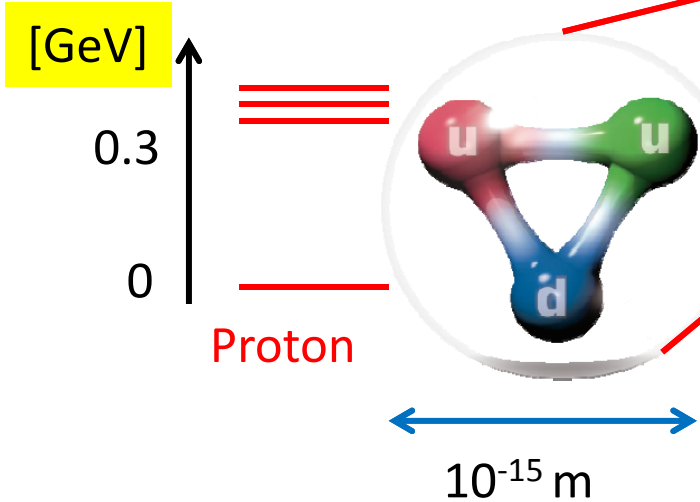
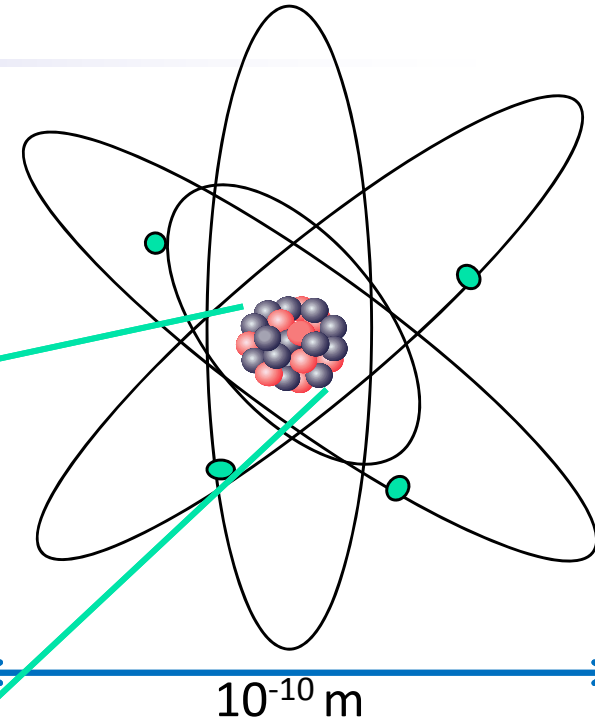
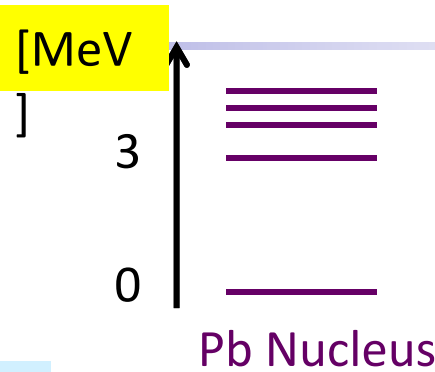
- Energías

- Correlaciones angulares

Estructura Subatómica

Los núcleos: **protons** (red)
neutrons (blue), cada uno
formado de 3 quarks
unidos por gluones.

- 1 cm³ de hierro = 7.9 g
- 1cm³ de núcleos de hierro = 300 Toneladas!



Electron , proton s. XX
-1932 descubrimiento del neutron!

50/60's Acceleradores → hadron zoo(100)
Hadrones combinaciones de 2-3 quarks

¿qué mantiene unidos los protones y neutrones en el Núcleo?

➤ **Fuerza Fuerte** (“Fuerza nuclear”)

Corto Alcance ($1 \times 10^{-15} \text{m}$)

Int un nucleón con 10

Quarks, protones, neutrones...

● **Fuerza Coulombiana** (em)

Largo alcance

Mantiene el núcleo y electrones

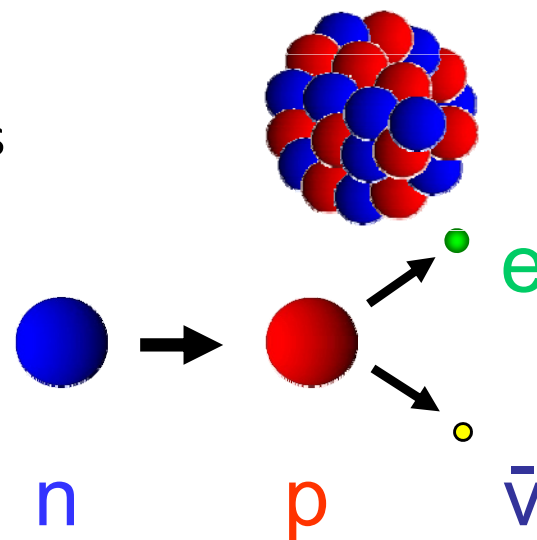
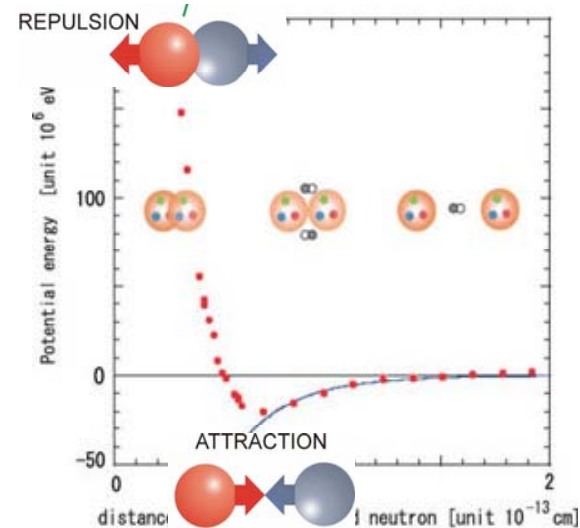
La sientes todas las partículas cargadas

● **Fuerza Débil**

Responsable de la inestabilidad de ciertos núcleos

● **Fuerza Gravitatoria**

Su masa



Intensidad

1

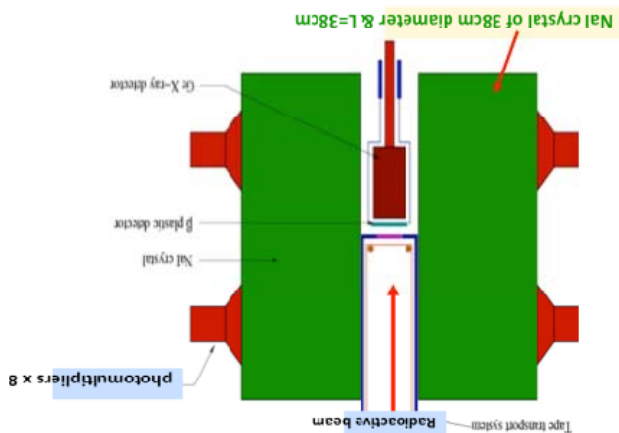
$< 10^{-2}$

$< 10^{-5}$

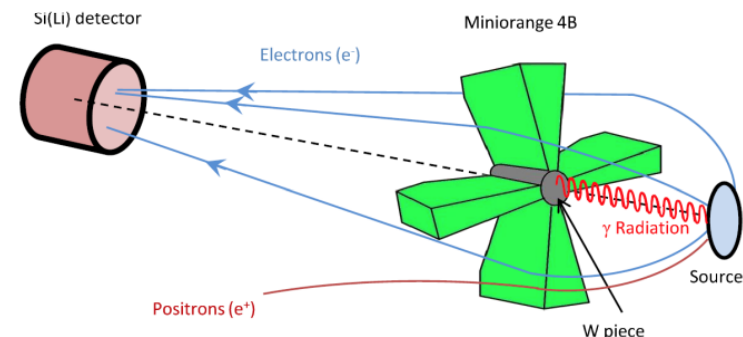
$< 10^{-38}$



Estudio del nucleo $N=Z$ ^{72}Kr

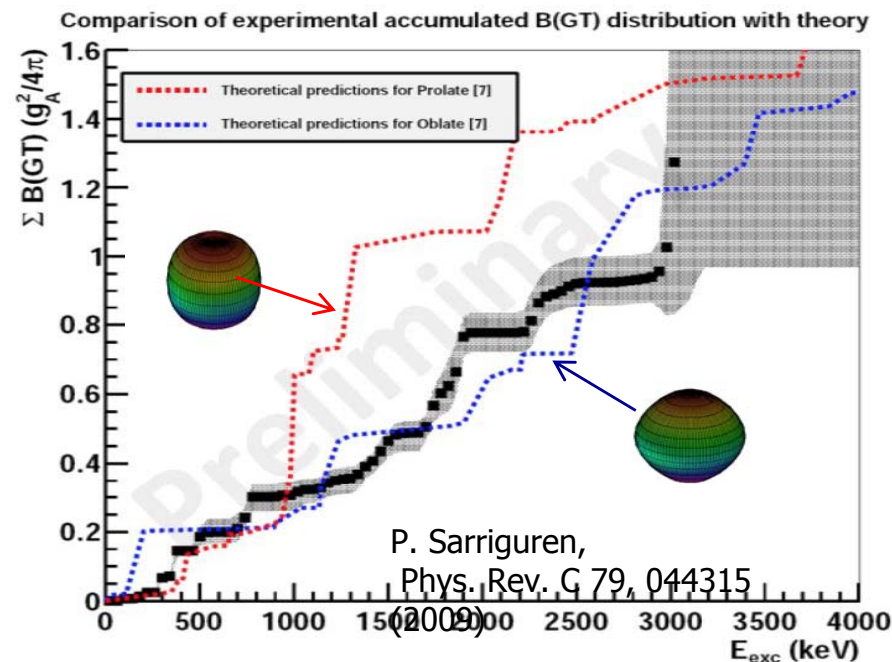


- Conversion electron studies to determine the multiplicities of the low gamma transitions



- $B(\text{GT})$ obtained by measuring the intensity of the full gamma de-excitation cascade from each fed level to the ground state.

The $B(\text{GT})$ distribution favours oblate deformation!



Briz et al, PRC92 (2015) 054326