

# FISICA DE LAS INTERACCIONES FUNDAMENTALES

1ER CUATRIMESTRE 2026

CLASE 2

RODOLFO SASSOT

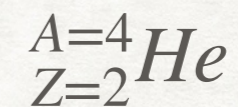
## CLASE 2: Fenomenología nuclear

Temas: Núcleos, modelos nucleares.

**núcleo atómico:** (Rutherford 1911)

Z protones (Rutherford 1918)

A-Z neutrones (Chadwick 1932)



275 núcleos "estables"

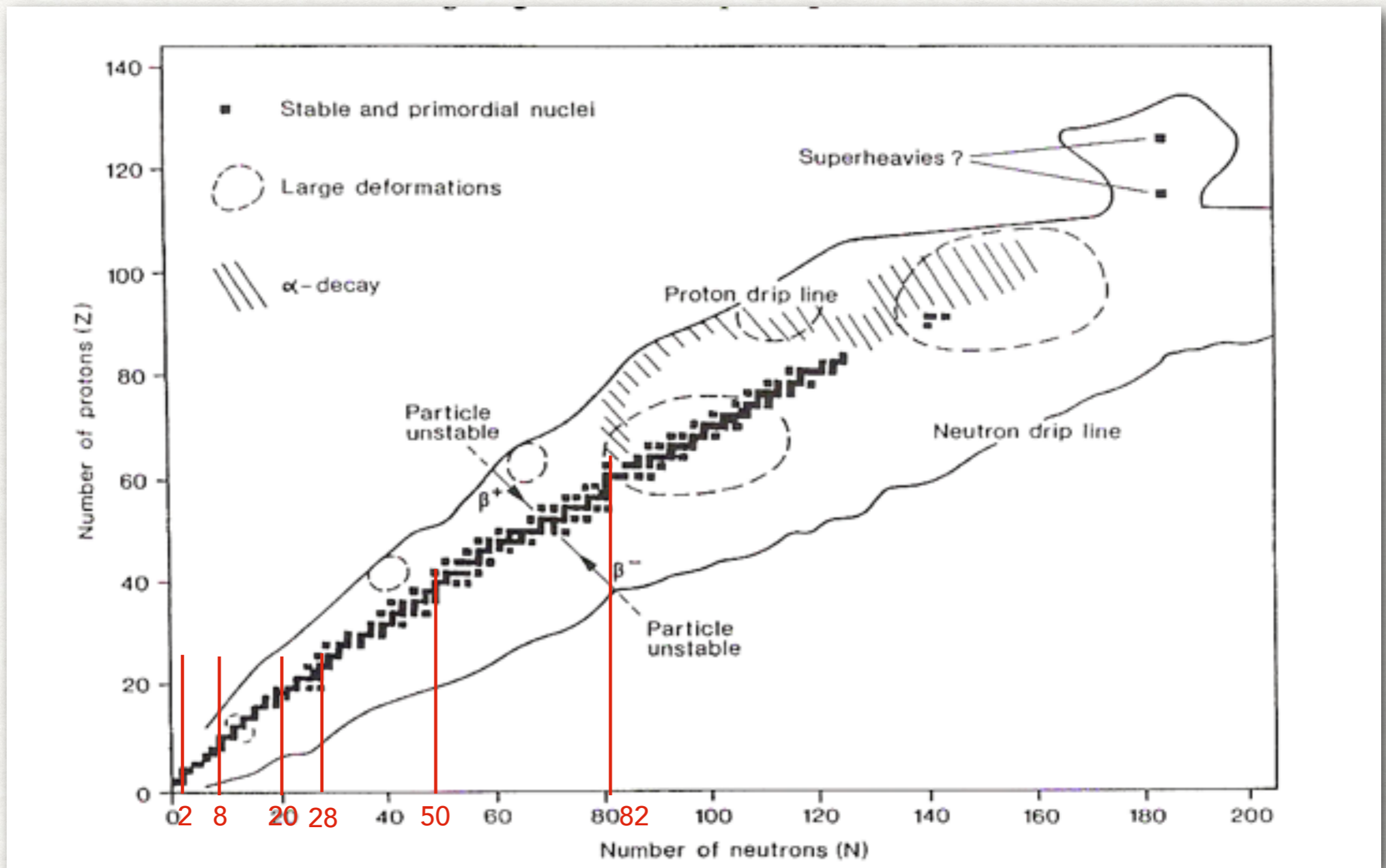
> 2000 núcleos "inestables"

( $\tau \sim 10^{-7} s - 10^{18} y$ )

→ gran variedad de fenómenos a describir

→ descubrir regularidades: pistas sobre las interacciones nucleares

## CLASE 2: Fenomenología nuclear



la interacción distingue entre p/n, pero los trata en pie de igualdad ( $p \leftrightarrow n$ )  
corrección electrostática  
más de un isótopo (isóbaro) estable; cuántos?

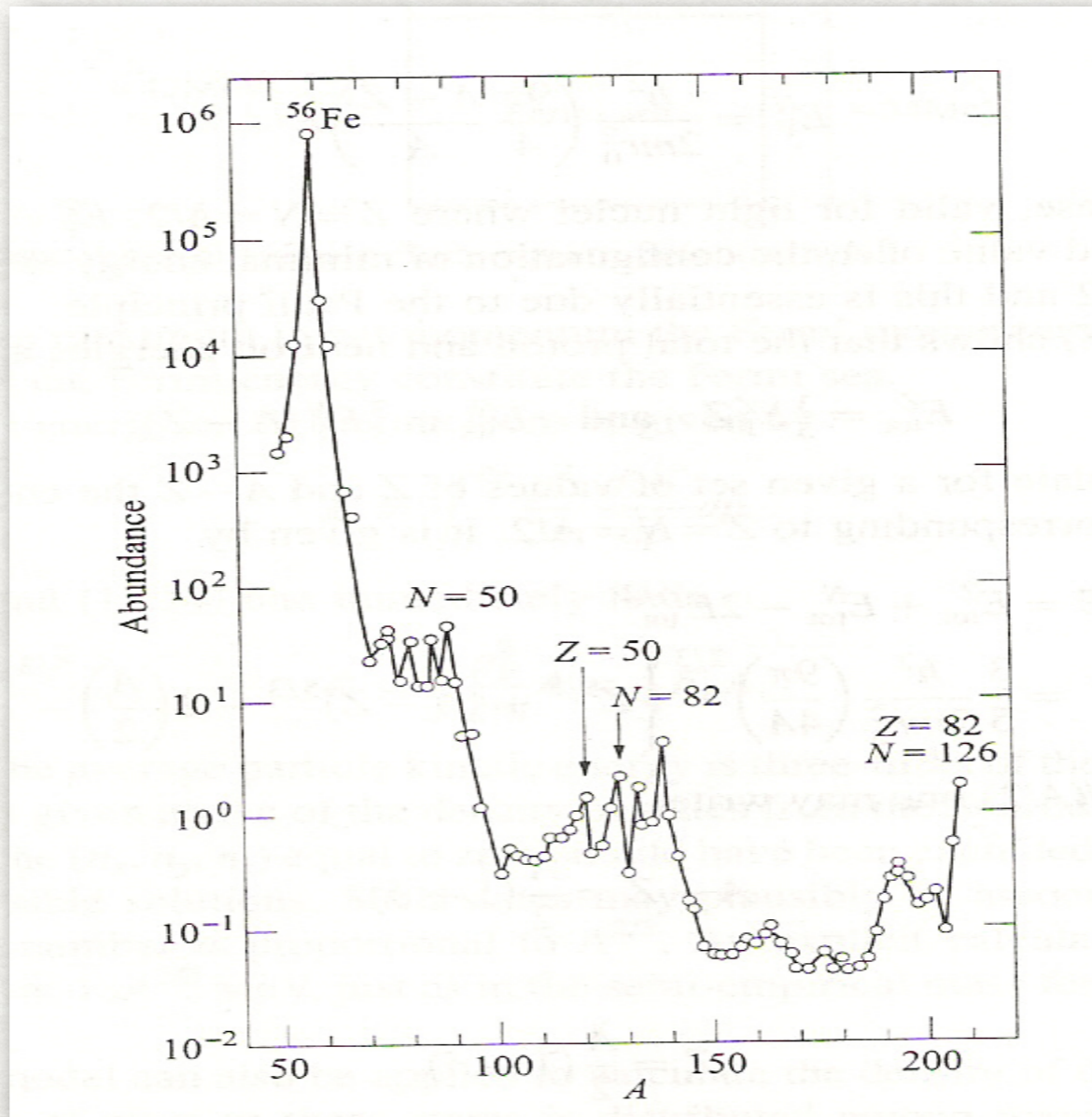
simetría!  
aproximada  
~ corto alcance  
~ números mágicos

## CLASE 2: Fenomenología nuclear

números mágicos:  $Z$  o  $N = 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126$

~ discontinuidades en propiedades nucleares (~orbitales átomo de hidrógeno?)

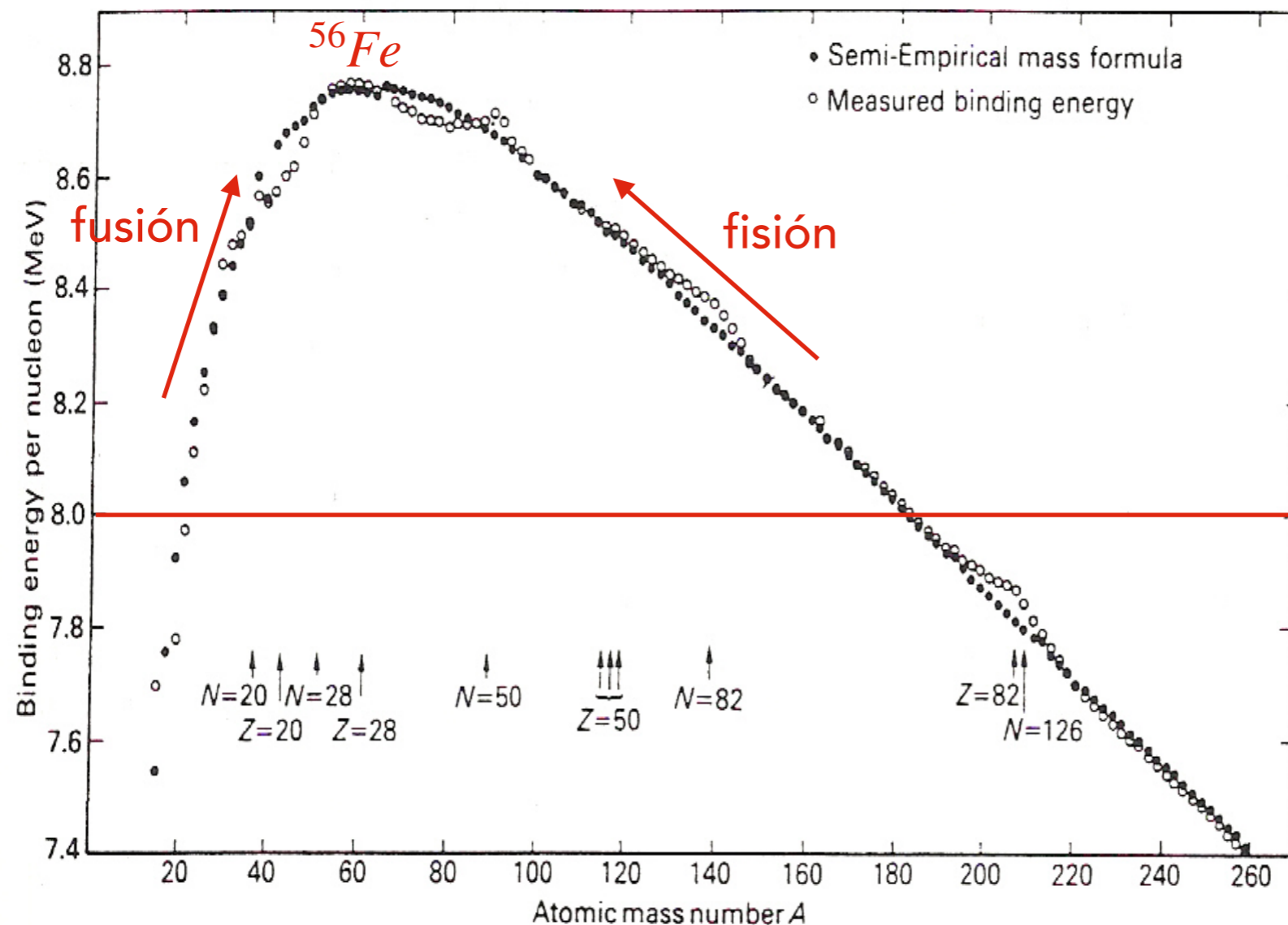
doble mágicos:  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$ ,  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$



# CLASE 2: Fenomenología nuclear

**masas nucleares:** función (bastante) suave de  $A$ ,  $Z$ ,  $N$

$$M = Z m_p + (A - Z) m_n - B \quad B \text{ binding energy/energía de ligadura } (B > 0)$$



$B/A$



Георгий Антонович Га́мов

$8 \text{ MeV} \pm 10 \%$   
primeros vecinos enorme!

## CLASE 2: Fenomenología nuclear

### modelo de capas:

números mágicos del átomo de hidrógeno  $\sim$  potencial central  $\rightarrow$   $L$  buen número cuántico

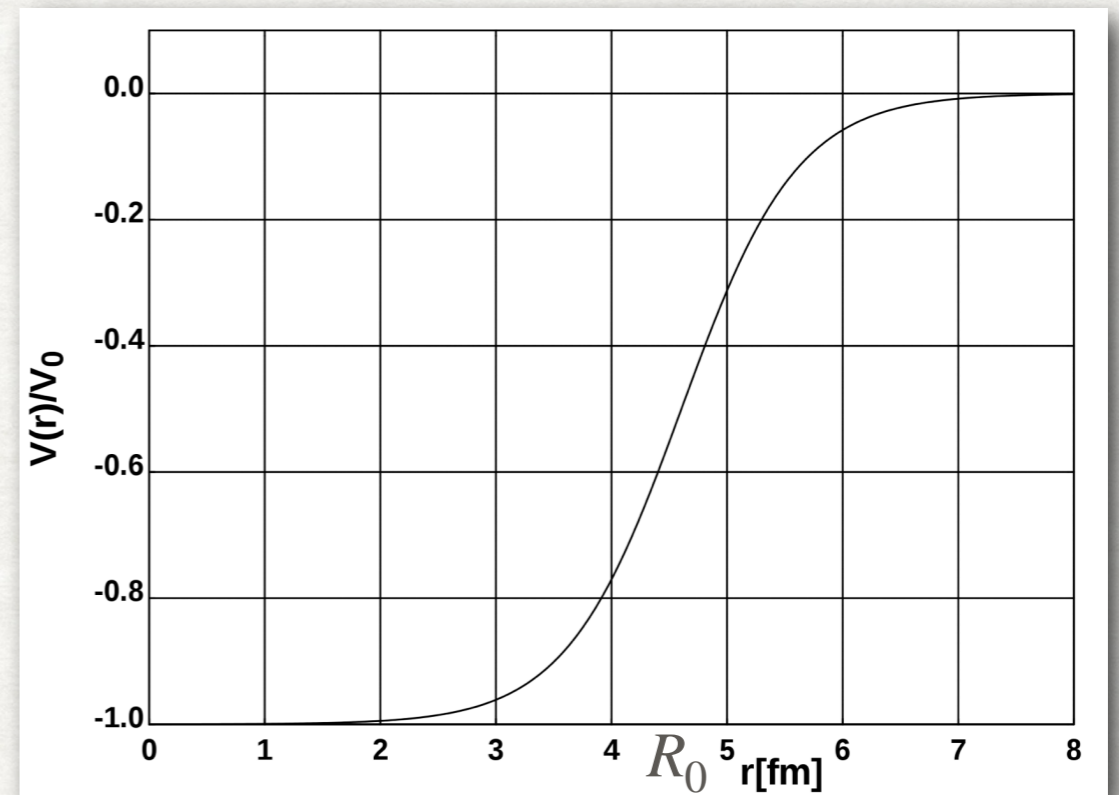
degeneración  $2L + 1$

espín  $\rightarrow$  factor 2

según la dependencia radial del potencial  $V(r)$ , surgen distintos esquemas de niveles

$$V(r) = \frac{-V_0}{1 + e^{\frac{r-R_0}{a}}}$$

potencial de Woods-Saxon



$$a = 0.5 \text{ fm}$$

# CLASE 2: Fenomenología nuclear

## modelo de capas:

aproximación con un oscilador armónico tridimensional

$$V(r) = -V_0 + \frac{1}{2}M\omega^2 r^2$$

$$E = (N + \frac{3}{2})\hbar\omega - V_0$$

$$\psi_{N,l,m} = R_{N,l}(r) \Phi_{l,m}(\theta, \phi)$$

$$N = 0, 1, 2, \dots \quad \# \text{ nodos}$$

$$l = 0, 1, 2, \dots$$

$$N = 2(n - 1) + l$$

$$m = -l, \dots, +l$$

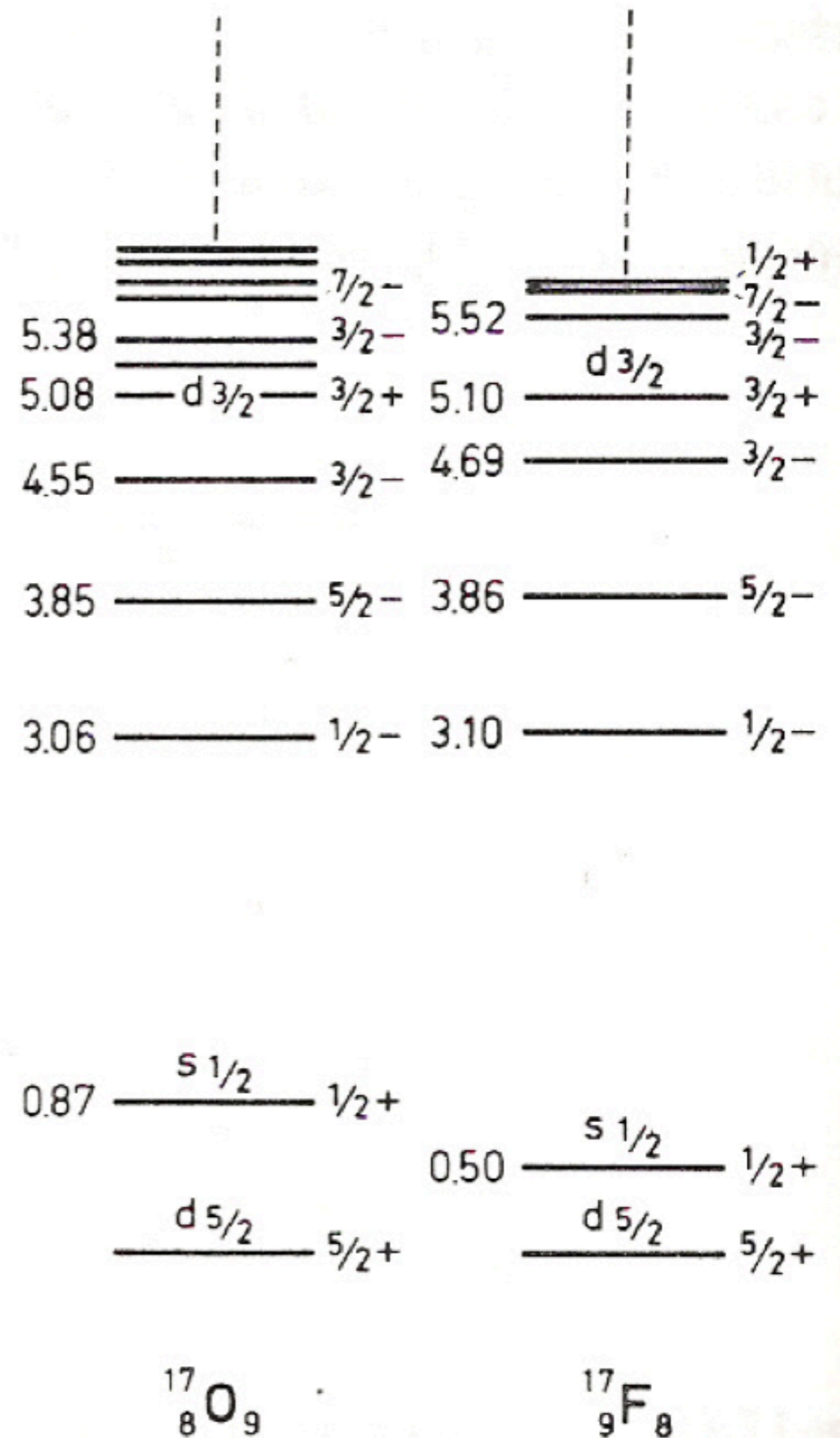
acumula

$N = 0$	$n = 1$	$l = 0$	$1s$	1 estado $l_z$	2 e. espín	2 estados
$N = 1$	$n = 1$	$l = 1$	$1p$	3 estados $l_z$	6 e. espín	8 estados
$N = 2$	$n = 1$	$l = 2$	$1d$	5 estados $l_z$	10 e. espín	
	$n = 2$	$l = 0$	$2s$	1 estado $l_z$	2 e. espín	20 estados

# CLASE 2: Fenomenología nuclear

## modelo de capas:

${}^4_2\text{He}$	(2,2)	1s	doble mágico	$J^P = 0^+$
${}^5_2\text{He}$	(2,3)	$1p^{3/2}$		$J^P = \frac{3}{2}^-$
${}^5_3\text{Li}$	(3,2)	$1p^{3/2}$		$J^P = \frac{3}{2}^-$
${}^3_2\text{He}$	(2,1)	1s		$J^P = \frac{1}{2}^+$
${}^{16}_8\text{O}$	(8,8)	1p	doble mágico	$J^P = 0^+$
${}^{17}_8\text{O}$	(8,9)	$1d^{5/2}$		$J^P = \frac{5}{2}^+$
${}^{17}_9\text{F}$	(9,8)	$1d^{5/2}$		$J^P = \frac{5}{2}^+$



# CLASE 2: Fenomenología nuclear

## isospin nuclear:

$${}^6_2\text{He} \quad (2,4) \quad \sim \quad {}^4_2\text{He} + 2n \quad (p^{3/2})$$

$$|3/2 - 3/2| < J < |3/2 + 3/2|$$

$$J = \cancel{3}, 2, \cancel{1}, 0$$

*"dos fermiones idénticos con un mismo j (3/2) se acoplan a J par"*

$${}^6_3\text{Li} \quad (3,3) \quad \sim \quad {}^4_2\text{He} + n + p \quad (p^{3/2})$$

$$J = 3, 2, 1, 0$$

*pero no son equivalentes! (distinta masa)*

fenómenos donde protón y el neutrón se comportan como dos estados de una misma partícula

$$|p\rangle, |n\rangle \quad |p\rangle \pm |n\rangle$$

isospín: Heisenberg 1932

$I, I_3$

$$|p\rangle \equiv |1/2, 1/2\rangle$$

$$|n\rangle \equiv |1/2, -1/2\rangle$$

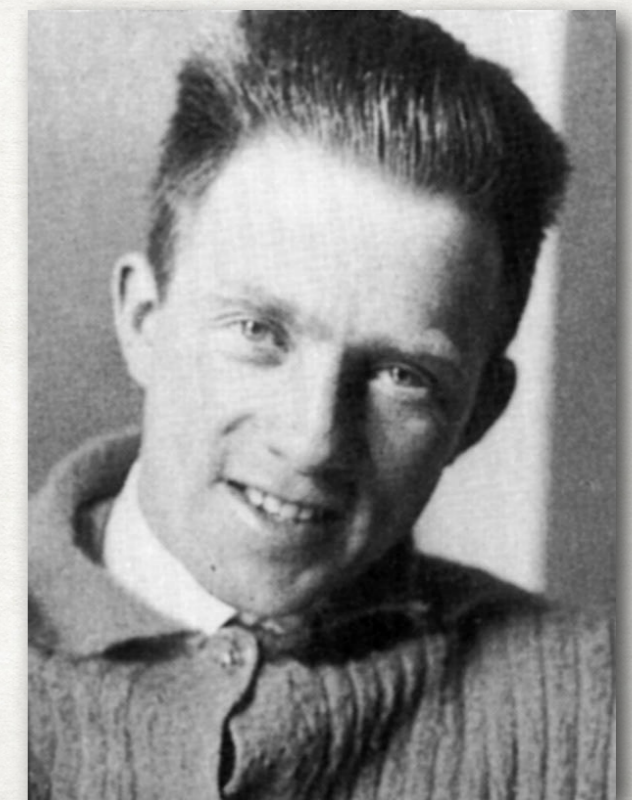
$I, I_3$

$$|pp\rangle \equiv |1, 1\rangle_S$$

$$|nn\rangle \equiv |1, -1\rangle_S$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} |pn + np\rangle \equiv |1, 0\rangle_S$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} |pn - np\rangle \equiv |0, 0\rangle_A$$



# CLASE 2: Fenomenología nuclear

## isospin nuclear:

			isospin	spin	
${}^6_2\text{He}$	(2,4)	$\sim {}^4_2\text{He} + 2n$	$ 1, -1\rangle_S$	$J = 0$	degenerados en masa $J = \text{par} \iff \text{antisimetrico}$
${}^6_3\text{Li}$	(3,3)	$\sim {}^4_2\text{He} + n + p$	$ 1, 0\rangle_S$ $ 0, 0\rangle_A$	$J = 0$ $J = 1$	
${}^6_4\text{Be}$	(4,2)	$\sim {}^4_2\text{He} + 2p$	$ 1, 1\rangle_S$	$J = 0$	

$$\frac{1}{\sqrt{2}} |pn + np\rangle \equiv |1, 0\rangle \quad \frac{1}{\sqrt{2}} |pn - np\rangle \equiv |0, 0\rangle$$

simetría interna (no espacio-temporal)

clave para la formalización de las interacciones débiles

clave para la clasificación de bariones y mesones (modelo de quarks)

simetría aproximada!



## CLASE 2: Fenomenología nuclear

**isospín:** análisis fenomenológico de las interacciones nucleares +  $m_n \simeq m_p$

→ otros multipletes candidatos

$p$	$n$	938.27	939.56 MeV	$I=1/2$	
$\pi^+$	$\pi^0$	$\pi^-$	139.57	134.97 MeV	$I=1?$
$K^+$	$K^0$	493	497 MeV	$I=1/2?$	
$\Delta^{++}$	$\Delta^+$	$\Delta^0$	$\Delta^-$	1230 – 1234 MeV	$I=3/2?$
$\Sigma^+$	$\Sigma^0$	$\Sigma^-$	1189	1187 MeV	$I=1?$

→ interacciones fuertes "conservan"  $I, I_3$

**simetría?** ~ poder definir una operación que deja invariante algo