Modelos Colectivos

Química Nuclear

Martín Pérez Comisso

intenta

Modelo de **Gota Líquida**

Modelo **Vibracional**

Modelos Colectivos

Modelo de **Gas de Fermi**

Modelo **Rotacional**

Grado de **Libertad**

- Centro de masas
- Momento cuadrapolar

Interacción N-N

- Repulsiva
- Atractiva

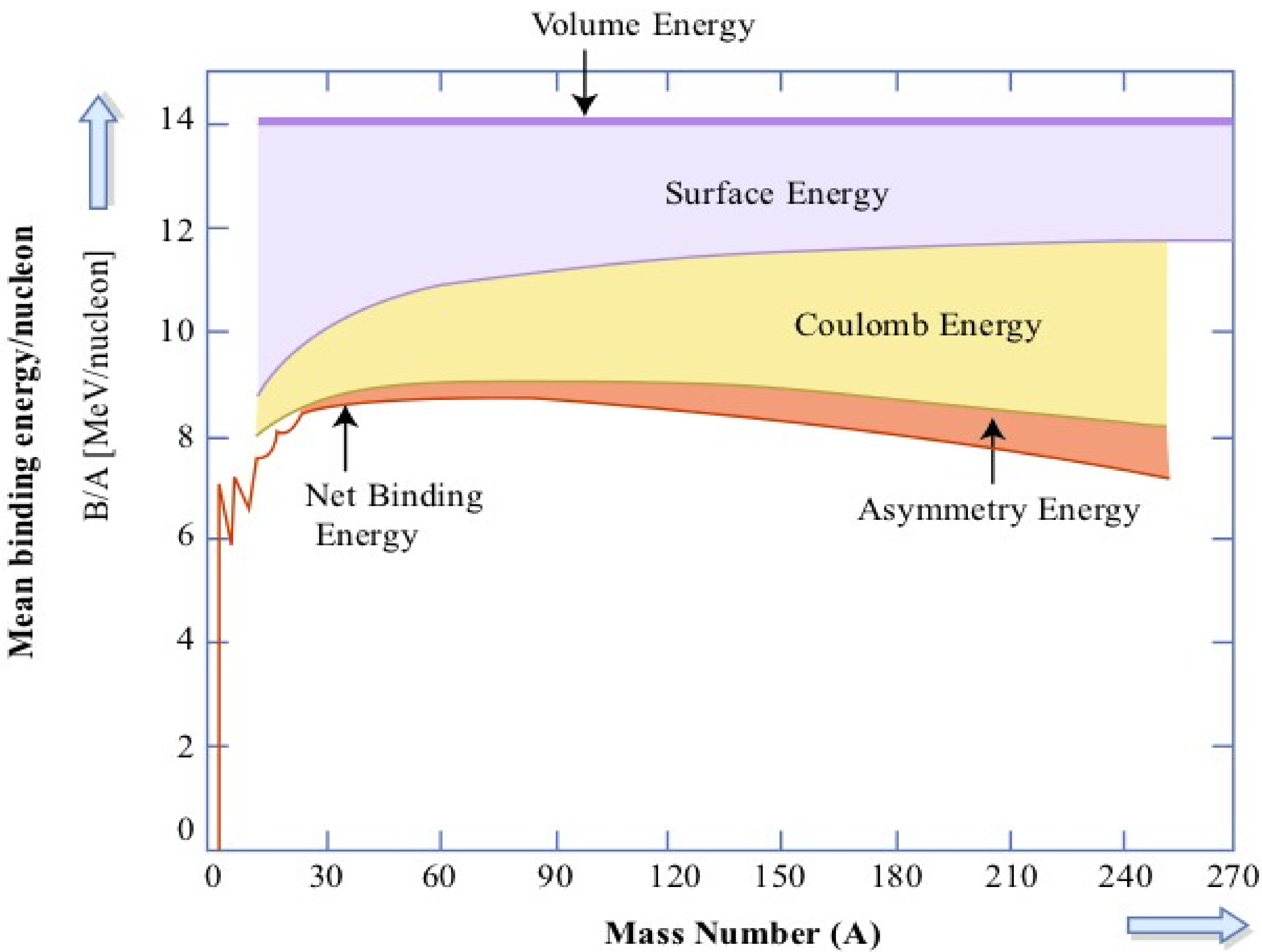
Modelo de

Gota Líquida

- Bohr – Wheeler 1939
- Gota es incompresible $R=r_0A^{1/3}$
- Explica la **formula semi-empírica de masas**:

$$E_B = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_A \frac{(A-2Z)^2}{A} + \delta(A,Z)$$

intenta



Volume Energy
Surface Energy
Coulomb Energy
Net Binding Energy
Asymmetry Energy
Mean binding energy/nucleon
B/A [MeV/nucleon]
14
12
10
8
6
4
2
0
0
30
60
90
120
150
180
210
240
270
Mass Number (A)

$$Z_{min} = A(2+0,015A^{2/3})$$

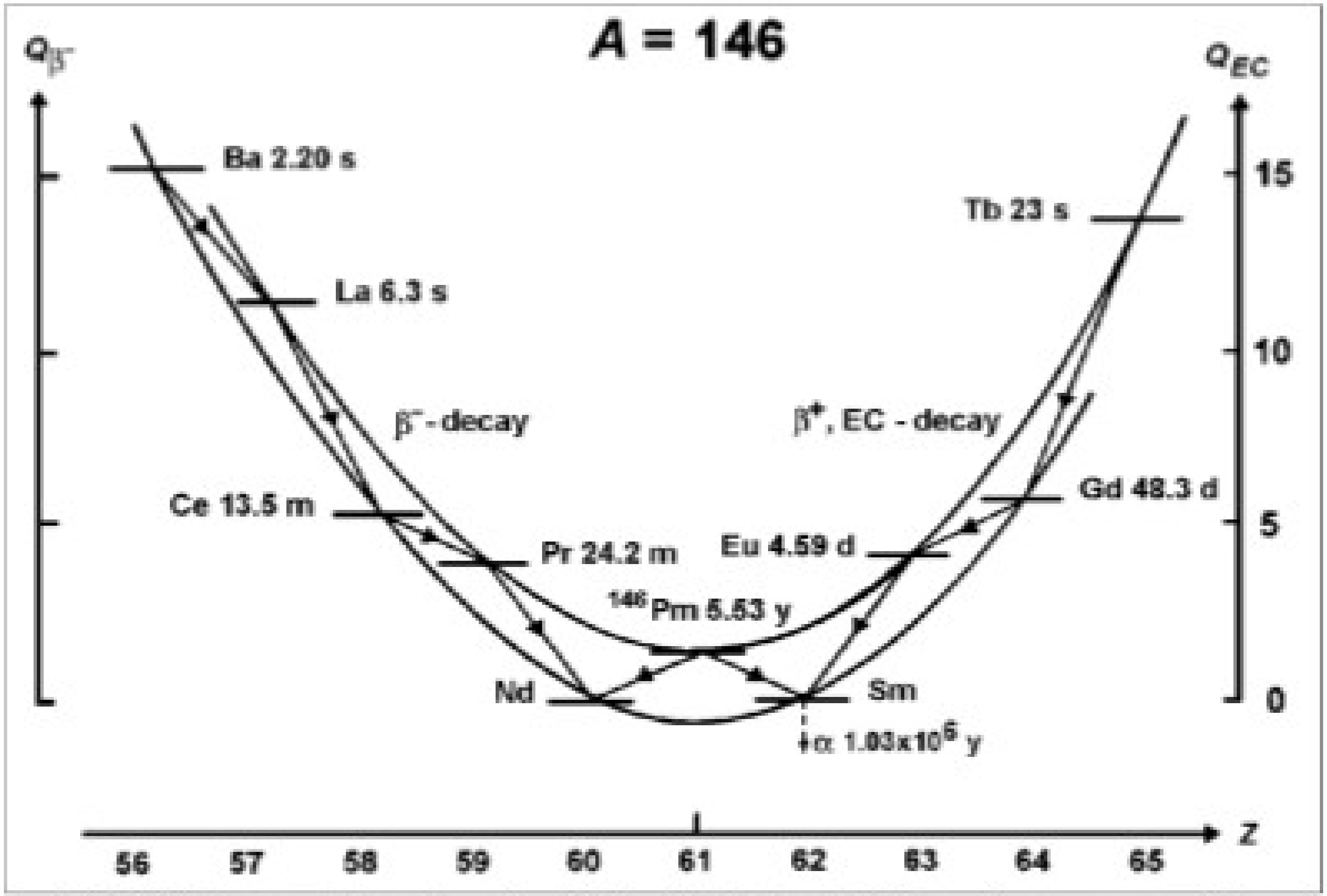
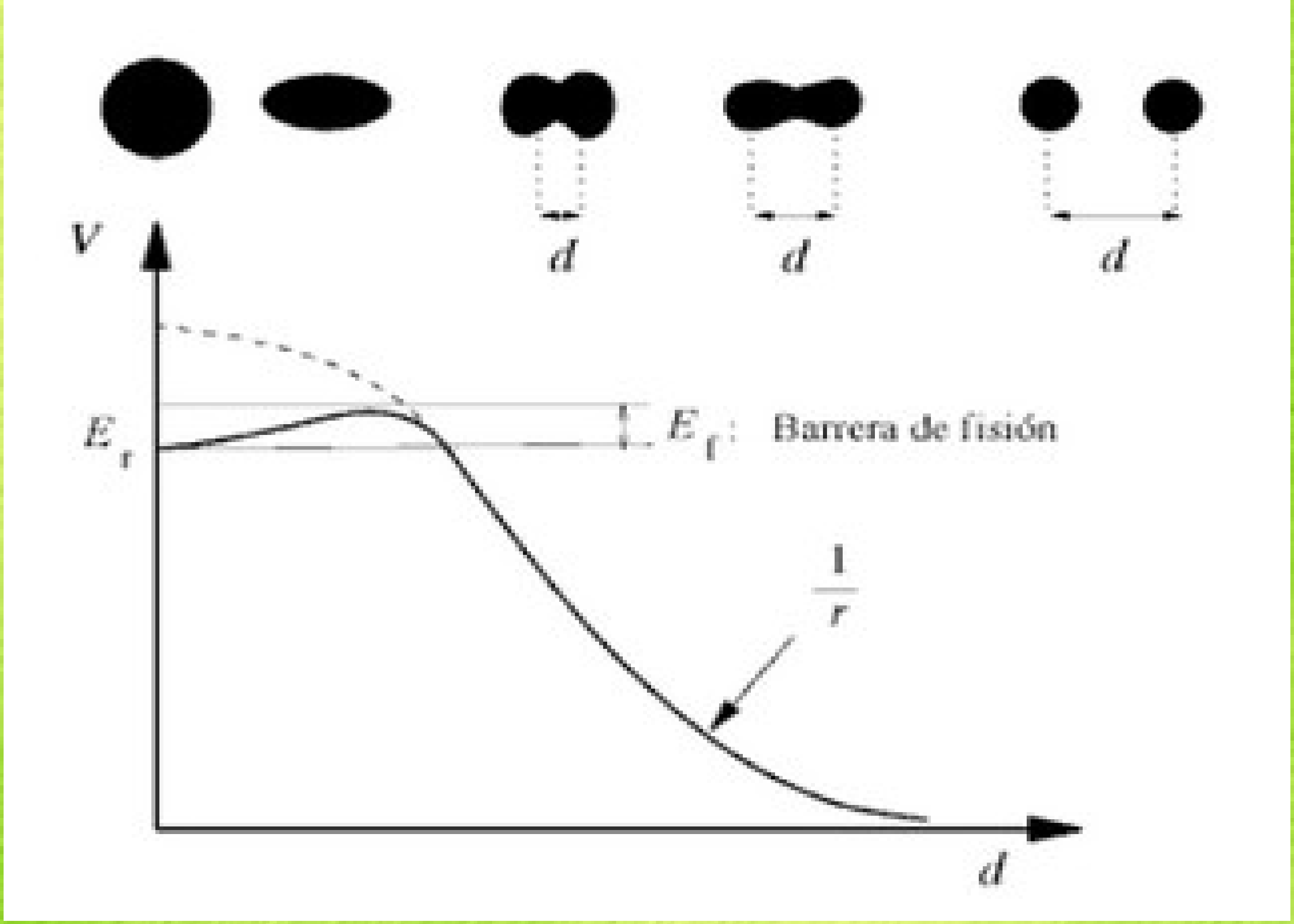


FIG. 3.7. Decay scheme for A = 146, with isobar half-lives. Decay energy Q in MeV. ^{146}Nd and ^{146}Sm are β-stable.

Existe una **barrera de potencial**



Esta limita la ocurrencia de una fisión espontánea

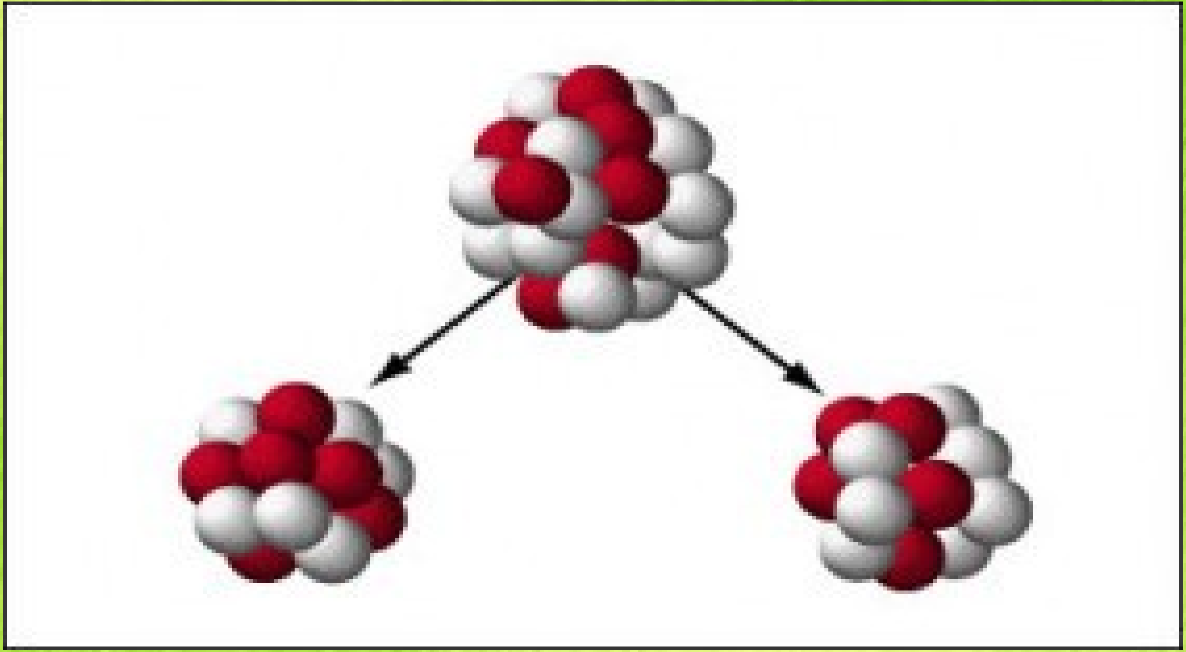
intenta

- La **espontaneidad** de una reacción de fisión

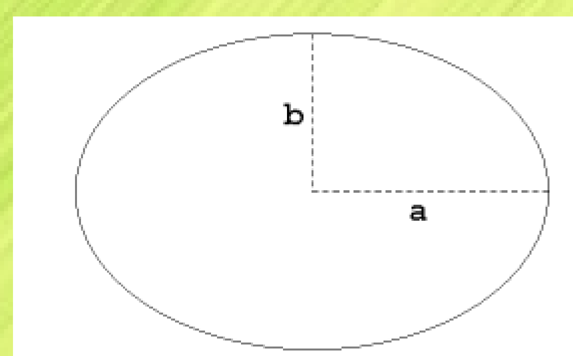
$$\Delta E>0$$

$$1/5\alpha_c Z^2 > 2/5\ \alpha_s A$$

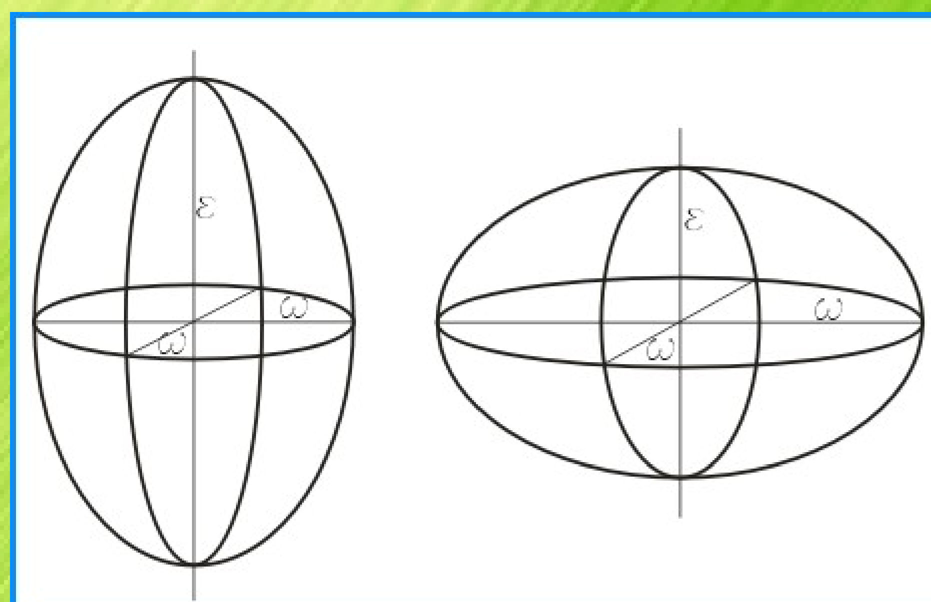
$$A > 300$$



- Para entender la **deformación nuclear**, se utiliza € parámetro de deformación

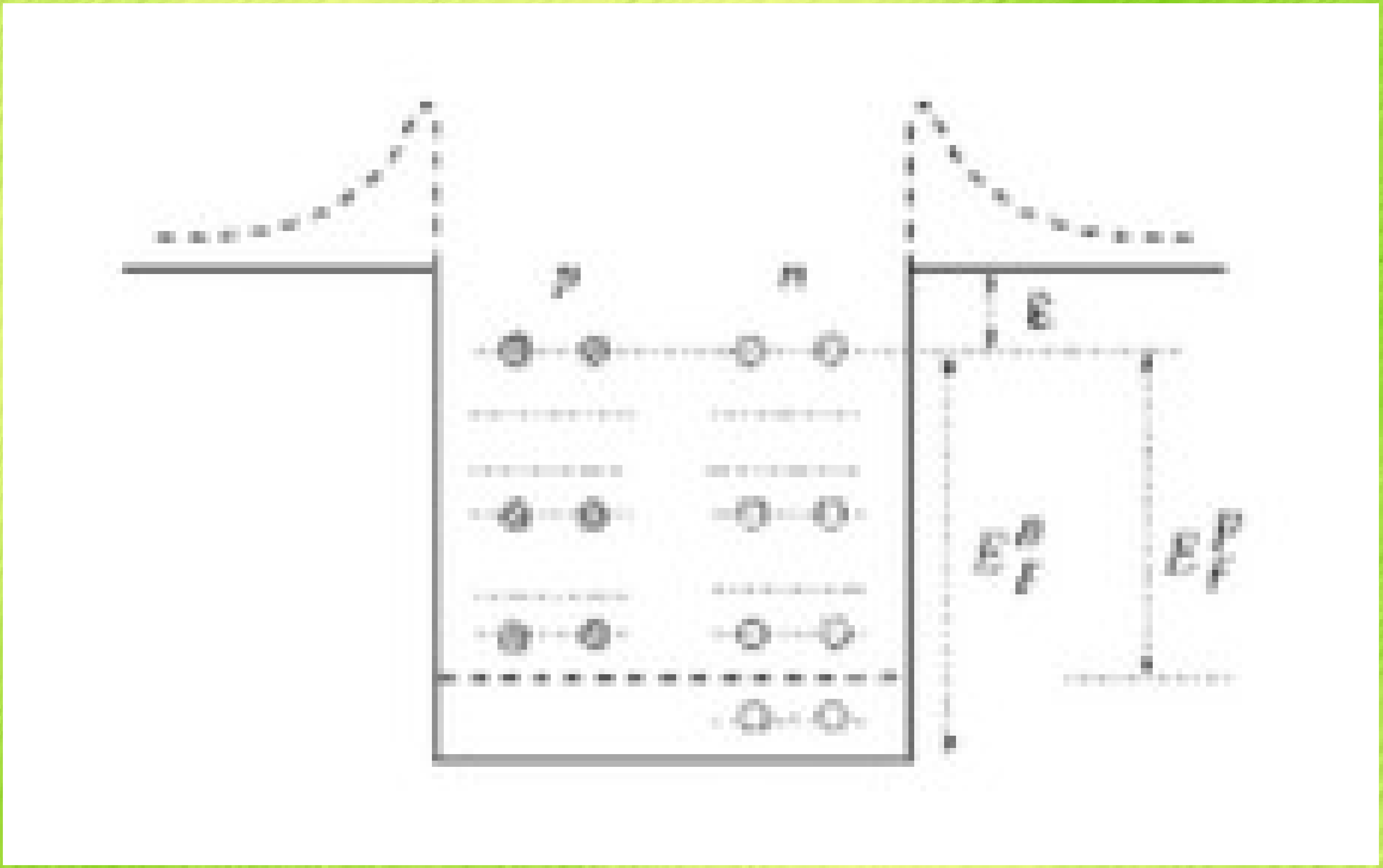


$$a = R\,(1+€)$$
$$b = R\,/\,\sqrt{1+€}$$



Modelo de

Gas de Fermi



- Momento de Fermi

$$N = \frac{V}{3\pi^2\hbar^3}(p_{f,n})^3 \qquad Z = \frac{V}{3\pi^2\hbar^3}(p_{f,p})^3$$

$$(p_{f,n}) = (p_{f,p}) = p_f = \frac{\hbar}{V_o}\left(\frac{9\pi}{8}\right)^{\frac{1}{3}} \approx 250 \ MeV$$

$$E_F = \frac{p_f^{\ 2}}{2M} \approx 33 \ MeV \qquad \mathcal{E} \approx 8 \ MeV$$

$$V_o = E_F + \mathcal{E} \sim 40 \ MeV$$

intenta

- La diferencia de energía del Modelo de Fermi

$$\overline{E} = \frac{3}{5}\frac{NE_{F,n}+ZE_{F,P}}{A}$$

$$E_{tot} = \frac{3}{5}(E_{tot}^{Z}+E_{tot}^{N}) = \frac{3}{5}(ZE_{F,P}+(A-Z)E_{F,P})$$

- Considerando el **exceso** de energía

$$\Delta E = E_{tot}^{Z} + E_{tot}^{N} - 2E_{tot}^{A/2}$$

intenta

- Se define:

$$\eta = \frac{(A/2 - Z)}{(A/2)}$$

- El que cumple:

$$N = (A/2)(1+\eta)$$
$$Z = (A/2)(1-\eta)$$

- Que al resumir en términos cuadráticos, determina la **energía de la barrera de potencial** (para MdF)

$$\Delta E \simeq \frac{1}{3} E_F \frac{(Z-N)^2}{A}$$

intenta

- El **Modelo de Fermi** no explica:

  - Estructura de nivel energético
  - Espines y paridades de estado nuclear
  - La existencia de número mágicos
  - Momentos eléctricos y magnéticos

intenta

Propiedades Colectivas

Núcleo Par-Par

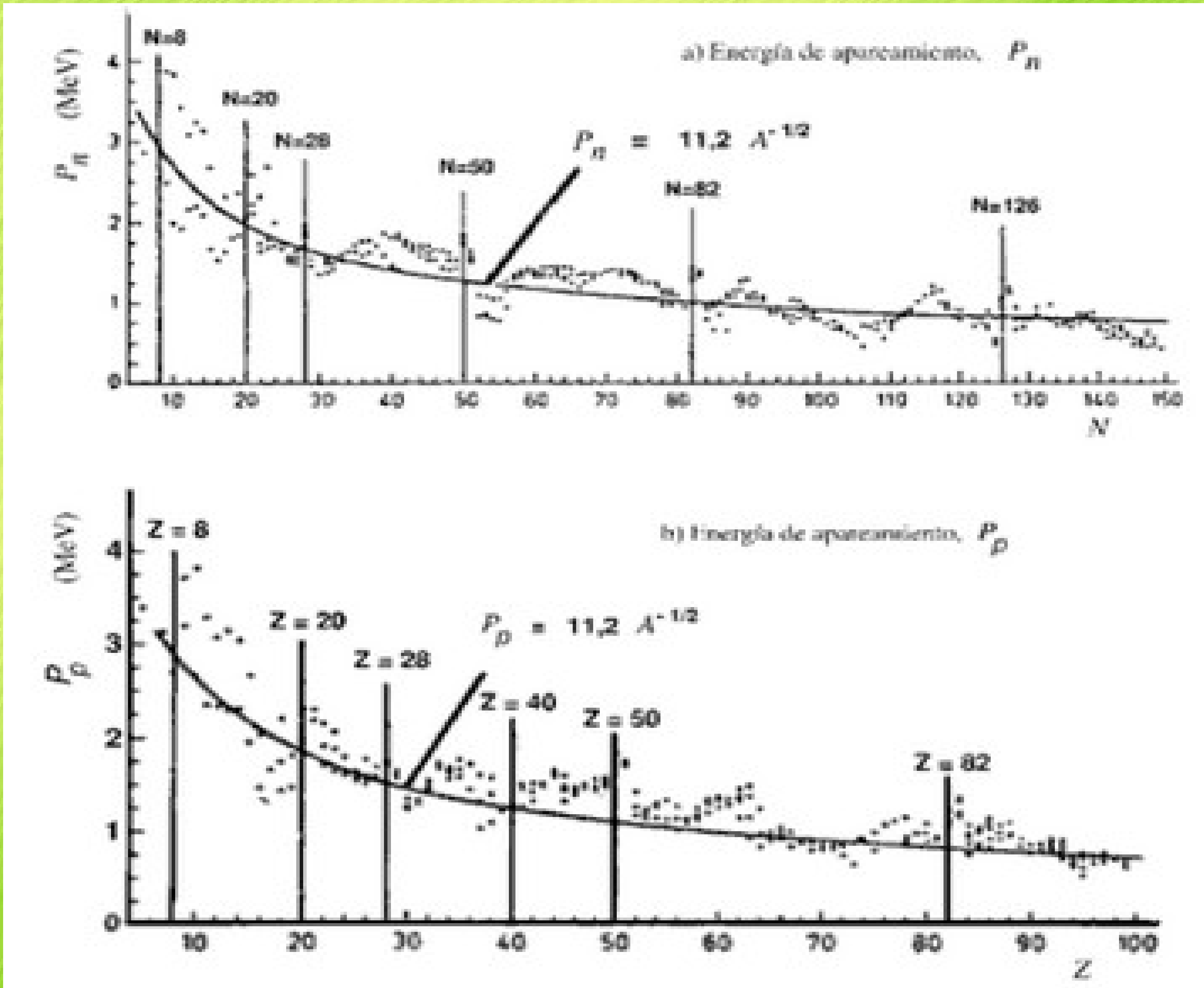
- Energía de Apareamiento

$$P_N \sim P_p \sim \frac{11,2}{\sqrt{A}} MeV$$

3 MeV → 0,75 MeV

$$P_N = S_N(N,Z) - S_N(N-1,Z)$$

$$P_P = S_P(Z,N) - S_P(Z-1,N)$$


a) Energía de apareamiento. P_n
P_n (MeV)
N=8
N=20
N=28
N=50
N=82
N=126
$P_n = 11,2\ A^{-1/2}$
N
b) Energía de apareamiento. P_p
P_p (MeV)
Z = 8
Z = 20
Z = 28
Z = 40
Z = 50
Z = 82
$P_p = 11,2\ A^{-1/2}$
Z

Observación Experimental

Núcleos Par-Par

- Nivel Excitado Jp = 2+
- Energía de 2+ desciende con A
- Otro nivel 4+, tal que:

$$\frac{E(4+)}{E(2+)} = \begin{cases} 2{,}0 & A < 150 \\ 3{,}3 & A = 150\text{-}190 \\ & \wedge\ A > 220 \end{cases}$$

- μ (2+) va entre 0,7 a 1 μ_n
- Q pequeño para A < 150 y Q grande para A =150-190 y A>220

- Estos resultados conducen a la búsqueda de nuevos modelos:

Vibracional: Núcleo esférico

Rotacional: Núcleo Deformado

intenta

Modelo
Vibracional

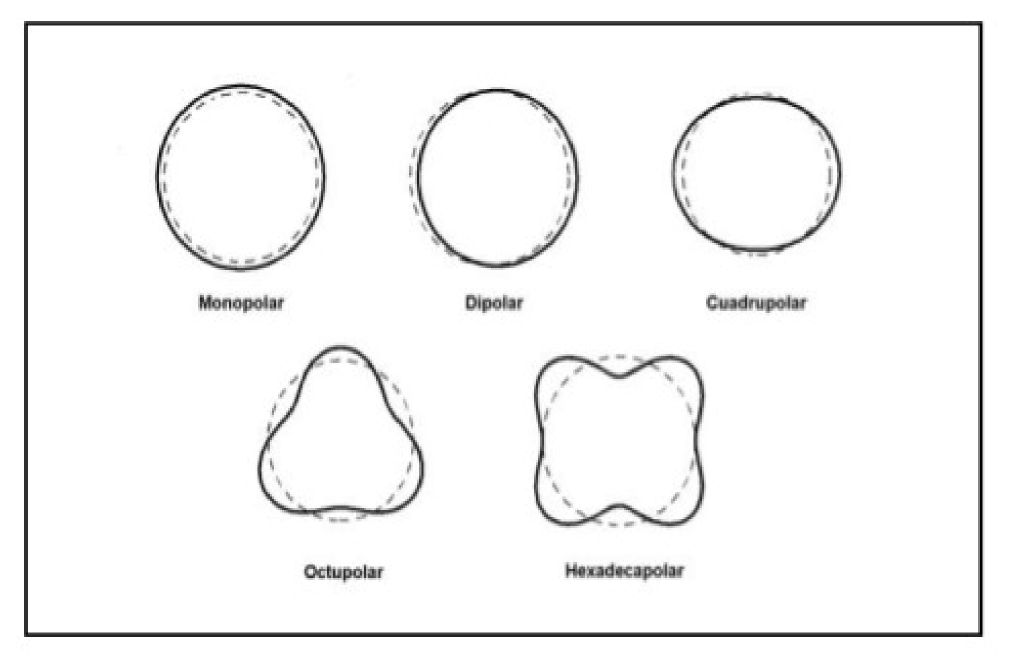
- Núcleo Esférico
- Radio (Ro)
- No deformación

$$R(t) = R_m + \sum_{\lambda \geq 1} \sum_{\mu=-\lambda}^{+\lambda} \alpha_{\lambda\mu}(t) Y_{\lambda\mu}(\theta, \phi)$$

- Cada **modo vibracional** viene dado por λ y descrito por $2\lambda+1$

Momento angular	$J = \lambda\hbar$
Paridad	$P = (-1)^{\lambda}$

λ	2^λ	Caracterización estado vibracional
0	Monopolo	Cambia r(t), Yoo es constante. Se denomina Modo Respiratorio
1	Dipolo	Cambio en la forma. Isoescalar e Isovectorial
2	Cuadrapolo	Fundamental para Oscilaciones No-Esfericas. Jp=2+
3	Octapolo	Jp=3- que explica deformaciones más complejas de los núcleos



intenta

Isoescalar	Isovectorial
- Escalar isoespín T=0 - Desplazamiento del centro de masas - Estructura del núcleo no cambia - Insensible a fuerzas nucleares	- T = 1 - Desplaza a neutrones y protones de oposición (barrera de potencial) - Energía máxima del nivel E1 de resonancia varía en F(A) = 78*A^-1/3 (MeV) - Tiene anchura de ~ 6 MeV independiente de A

- Energía y **Parámetro de Forma**

$$H = T + V$$

$$H_\lambda = \frac{1}{2} D_\lambda \sum_{\mu} \left| \frac{d\alpha_{\lambda\mu}}{dt} \right|^2 + \frac{1}{2} C_\lambda \sum_{\mu} \left| \frac{d\alpha_{\lambda\mu}}{dt} \right|^2$$

$$D_\lambda = \frac{\rho R_o^5}{\lambda}$$

$$C_\lambda = \frac{1}{4\pi}(\lambda-1)(\lambda+2)\alpha_S - \frac{5}{2\pi}\,\frac{\lambda-1}{2\lambda+1}\,\alpha_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}$$

intenta

$$C_\lambda \frac{d^2\alpha_{\lambda\mu}}{dt^2} + D_\lambda \alpha_{\lambda\mu} = 0$$

$$(x + w^2 x) = 0$$

$$w_\lambda = \sqrt{\frac{C_\lambda}{D_\lambda}}$$

Frecuencia del Oscilador esta determinada por la propiedad de forma del núcleo

Otras predicciones

Modelo VIbracional

- $$\mu(J) = J \frac{Z}{A} \frac{\mu_N}{\hbar}$$
- Q ~ 0 para núcleos
- E(4+)/E(2+)=2,0
- $\langle \Delta R^2 \rangle = Ro^2 \langle \beta^2 \rangle$
- $\langle \beta^2 \rangle$ es deformación cuadrática media

Modelo
Rotacional

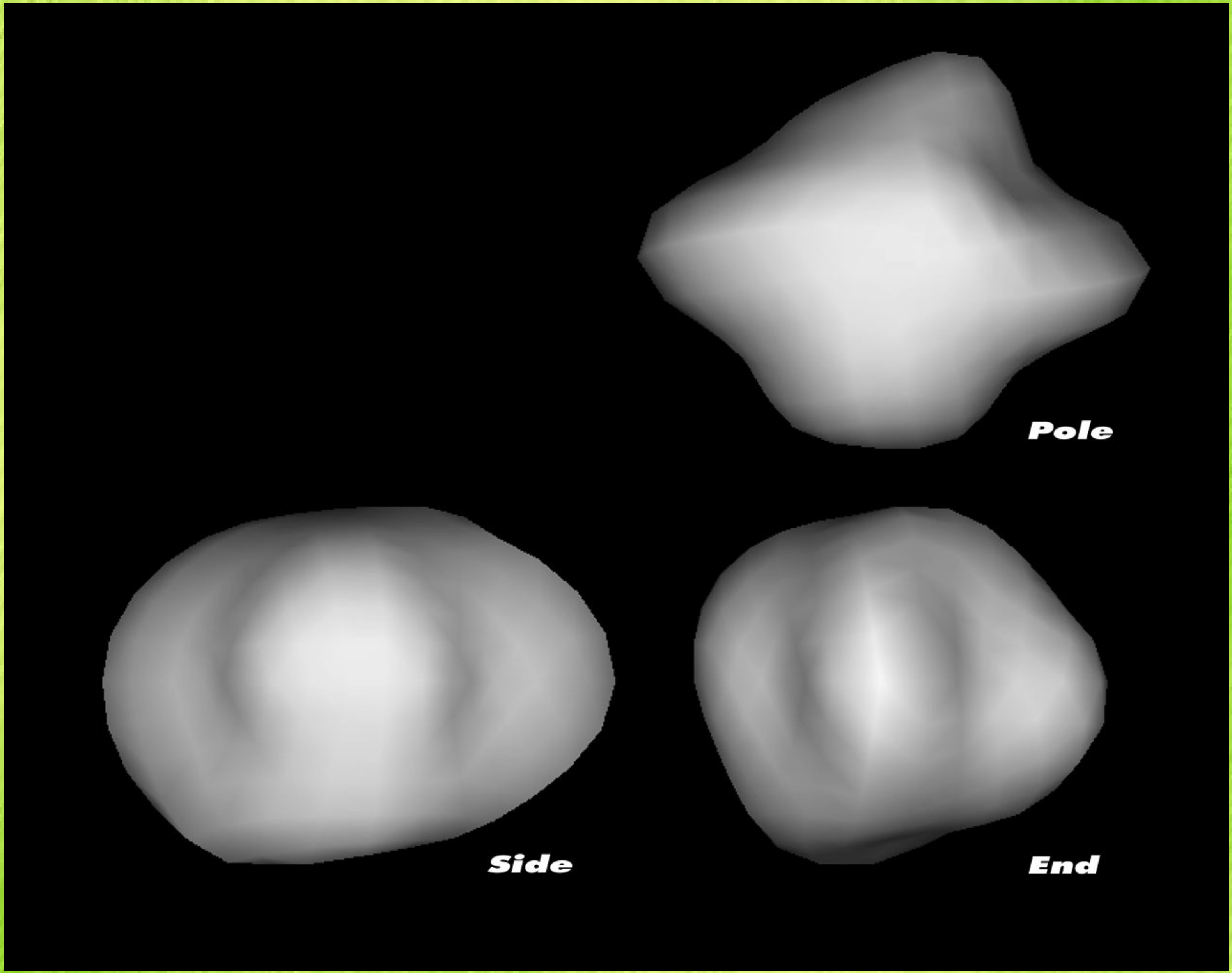
$$J^2|JMK> = J(J+1)\hbar|JMK>$$

Al resolver el Hamiltoniano rotacional, aparecen bandas rotacionales que aportan a la explicación de la deformación de los núcleos

$$K^P=0+ \quad nivel \;\; J=0,2,4,P+$$

$$K^P=0- \quad nivel \;\; J=1,3,5,P-$$

$$K^P>0 \quad nivel \;\; J=K,K+1,K+2$$

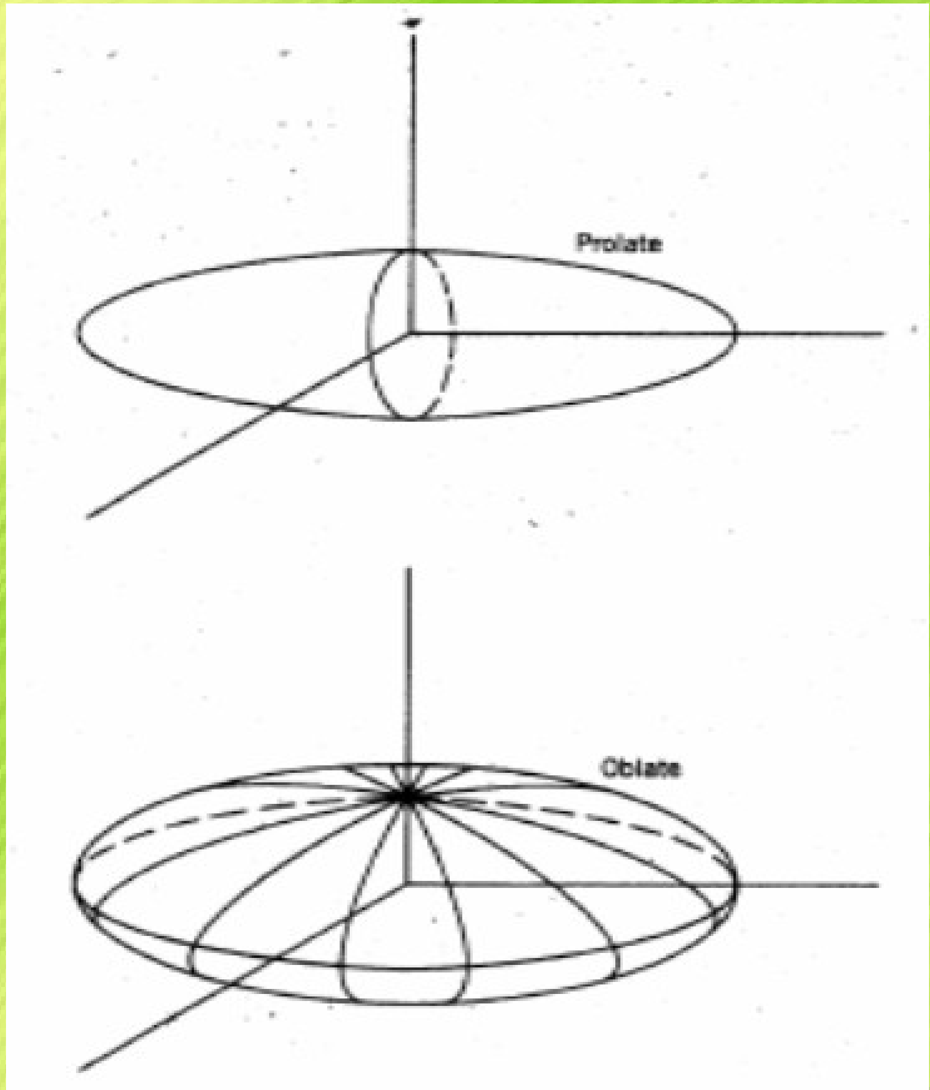


Núcleos muy deformados tienen A > 150

- Para modelar la deformación se considera la eliptización del núcleo, con el **parametro ß**

$$\beta = \frac{4}{3}\sqrt{\frac{\pi}{5}}\frac{\Delta R}{R_m}$$

$$R(\theta) = R_m\left[1 + \beta Y_{20}(\theta)\right]$$



intenta

Otras predicciones

Modelo Rotacional

- E(4+)/E(2+)= 3,3
- $$\mu(J)=J\frac{Z}{A}\frac{\mu_N}{\hbar}$$
- $$Q=\int(3z^2-r^2)\,\rho(r)\,d\vec{r}$$
- Momento de inercia del núcleo fluídizado (entre sólido y líquido)

$$\left.\begin{array}{l} Irig=6KeV \\ Iflu=90KeV \end{array}\right\} Ired=15MeV \quad (?)$$

Modelos Colectivos

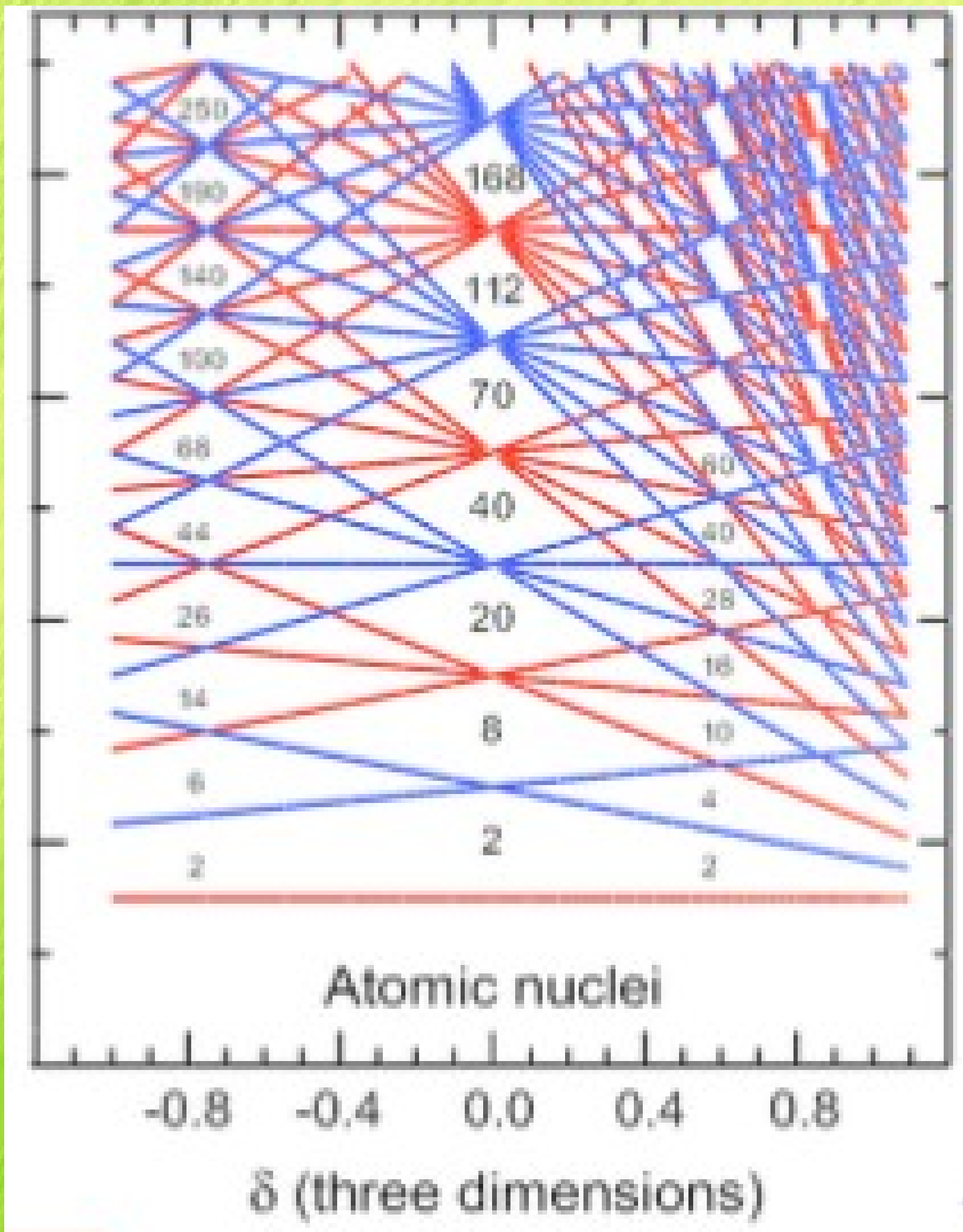
- Explican deformación
- Predicen fisión núclear
- Explican nucleos par-par
- Energía Apareamiento y Formula SE de masas

Modelo Individual

- Da cuenta de regularidad (Nº mágicos)
- Spin y Paridad
- Nucleos Par-Impar
- Momento magnetico
- Momento Quadrapolar

MODELO UNIFICADO
(Modelo Nielsson, etc)

Todo para explicar la estructura nuclear



Modelo
Nielsson