Cuestión 118

Enunciado: "**Según el modelo de capas nuclear, en el núcleo ^{16}O están ocupados los niveles $1s_{1/2}$, $1p_{3/2}$ y $1p_{1/2}$, tanto para protones como para neutrones. La transición que excita un nucleón del nivel $1p_{3/2}$ al nivel $1d_{5/2}$, ¿a qué excitaciones multipolares puede contribuir?**"

Respuesta dada como correcta: **Opción 2: 1^-, 2^-, 3^-, 4^-**

Impugnación

El modelo colectivo predice como estado fundamental para núcleos con Z par y N par el estado de espín-paridad 0^+, y como estados excitados 2^+, 4^+, etc. Sin embargo, para el caso del ^{16}O, un núcleo doblemente mágico (Z=8, N=8), el modelo de capas predice un primer estado excitado con espín-paridad 3^-, tal como se describe en el libro "Física nuclear y de partículas" (A. Ferrer Soria, Ed. PUV, 2008, páginas 91 a 93), cuyo texto se muestra en las siguientes páginas.

> Existe un nivel con $J^{\mathcal{P}} = 2^+$, excitado, de comportamiento muy regular. Todos los núcleos con estado fundamental 0^+ tienen como primer estado excitado un nivel 2^+ excepto los núcleos doblemente mágicos: ^4He, ^{16}O, ^{40}Ca, ^{90}Zr, ^{132}Sn y ^{208}Pb y alguna otra excepción como ^{14}C, ^{14}O y
>
> ^{72}Ge en los que el primer estado excitado tiene espín paridad distinto: 0^+, 3^-. La energía de los niveles 2^+ va decreciendo muy suavemente en función de A (véase la figura 3.3), y es aproximadamente *la mitad de la necesaria para romper un par*. Entre $A = 150$ y 190, los valores de $E(2^+)$ son pequeños y constantes.

Sin embargo, ninguna de las opciones que se muestran en el enunciado de la pregunta corresponde con la respuesta correcta, así que por ello se solicita la anulación de la pregunta.

Conclusión

En vista de lo anteriormente expuesto, solicito que la pregunta sea **anulada**.

El modelo del gas de Fermi permite justificar el término de asimetría que se incluye en la fórmula semiempírica de masas (1.36) y se parametriza con el término que contiene α_A. En efecto, si se tienen en cuenta, separadamente, la energía media de protones y neutrones:

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

La energía total de los A nucleones será:

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

Si se calcula el exceso de energía ΔE de estos A nucleones respecto al caso en el que $Z = N = A/2$, se tiene:

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

entonces, llamando $\eta = \frac{A/2-Z}{A/2}$, se cumple que $N = (A/2)(1+\eta)$ y $Z = (A/2)(1-\eta)$, con lo que reteniendo sólo términos cuadráticos en el desarrollo, se obtiene:

$$\Delta E \approx \frac{1}{3}E_{F}\frac{(Z-N)^2}{A} \tag{3.7}$$

término que tiene el mismo comportamiento que el de asimetría.

Sin embargo, hay muchas propiedades nucleares inexplicables por estos modelos, por ejemplo, la estructura de niveles energéticos o los espines y paridades de los estados nucleares, la existencia de números mágicos: núcleos con gran estabilidad y muy abundantes, los momentos eléctrico y magnético, etc. Para ello se han utilizado ideas atómicas, debido a las innumerables evidencias de una estructura nuclear en la que los nucleones llenan los estados cuánticos previstos, dando origen a las conocidas *capas*.

3.3 Propiedades colectivas de los núcleos par-par

El estado fundamental de los núcleos par-par tiene siempre $J^P = 0^+$, debido a las fuerzas de apareamiento de nucleones, cuya energía de ligadura del par o energía de apareamiento es:

$$P_n \sim P_p \sim \frac{11,2}{\sqrt{A}}\ \text{MeV} \tag{3.8}$$

y va de unos 3 MeV para núcleos ligeros hasta 0,75 MeV para $A = 220$ (véase la figura 3.2). La energía de apareamiento puede determinarse experimentalmente a partir de las energías de separación neutrónica:

$$P_n = S_n(N,Z) - S_n(N-1,Z) \tag{3.9}$$

o la fórmula equivalente para P_p en función de S_p para el caso de protones. O sea, nucleones idénticos se acoplan dando un estado de espín $S = 0$, más ligado. Esta fuerza es responsable del término δ (de apareamiento) de la fórmula de masas (1.36).

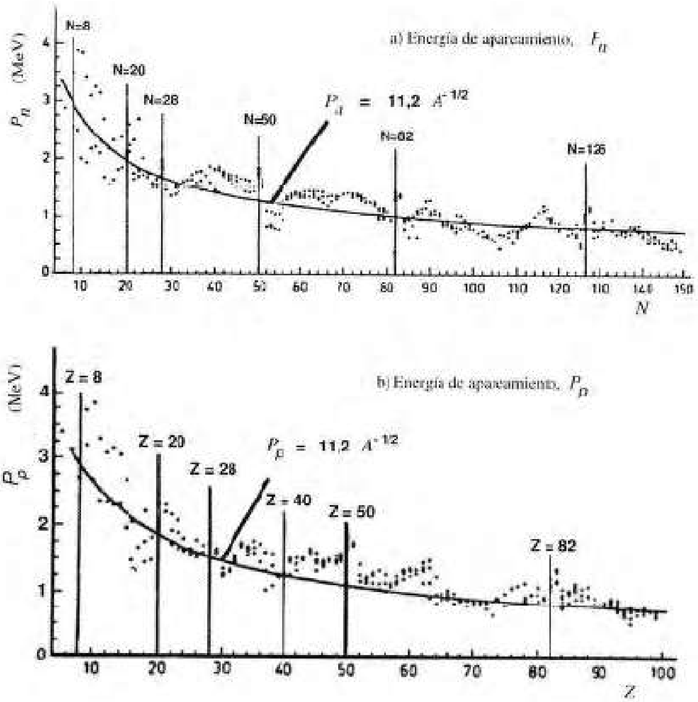

Figura 3.2: Los puntos representan la energía de apareamiento (a) neutrónica, P_n y (b) protónica, P_p, medidas para núcleos con los valores de N y Z indicados. La curva describe la misma dependencia con A vista en la expresión (3.8) en el texto. Las líneas verticales señalan números mágicos (datos de Zeldes *et al.*, 1967).

Pero, además del estado fundamental,

1. Existe un nivel con $J^P = 2^+$, excitado, de comportamiento muy regular. Todos los núcleos con estado fundamental 0^+ tienen como primer estado excitado un nivel 2^+ excepto los núcleos doblemente mágicos: ^4He, ^{16}O, ^{40}Ca, ^{90}Zr, ^{132}Sn y ^{208}Pb y alguna otra excepción como ^{14}C, ^{14}O y

^{72}Ge en los que el primer estado excitado tiene espín paridad distinto: 0^+, 3^-. La energía de los niveles 2^+ va decreciendo muy suavemente en función de A (véase la figura 3.3), y es aproximadamente *la mitad de la necesaria para romper un par*. Entre $A = 150$ y 190, los valores de $E(2^+)$ son pequeños y constantes.

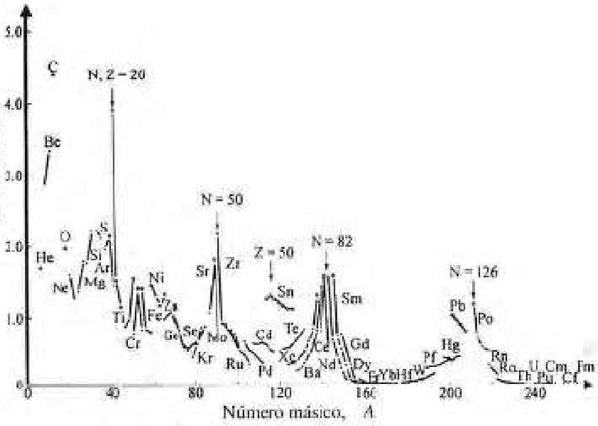

Figura 3.3: Espectro de energía del primer nivel excitado de los núcleos par-par que tiene espín-paridad $J^P = 2^+$. Se observan picos a determinados valores de Z o N asociados a números mágicos.

2. Existe también (véase la figura 3.4) un segundo nivel con $J^P = 4^+$ tal que el cociente $\dfrac{E(4^+)}{E(2^+)} = \begin{cases} 2,0 & A < 150, \text{ con gran dispersión.} \\ 3,3 & A = 150 \rightarrow 190 \quad y \quad A > 220 \end{cases}$

3. Los momentos dipolares magnéticos $\mu(2^+)$ son constantes $(0,7 \rightarrow 1,0)\,\mu_N$.

4. Los valores de $Q(2^+)$ son pequeños para $A < 150$ y grandes para $A = 150 \rightarrow 190$. Los momentos Q de los estados fundamentales de los lantánidos son también muy grandes.

El resultado de estas observaciones es que es necesario estudiar dos tipos de movimientos de tipo colectivo,

- Vibraciones alrededor de una forma, en equilibrio, esférica para núcleos ligeros ($A < 150$).

- Rotaciones de sistemas no esféricos (llamados deformados) para núcleos pesados ($A = 150 \rightarrow 190$ y $A > 220$).