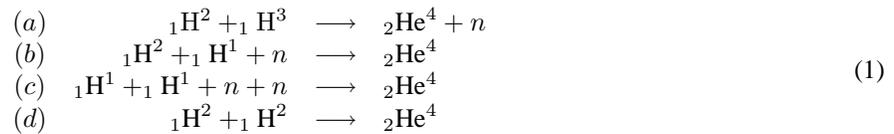


Estructura de la materia 4

Guía 2: física nuclear

1. Usando la tabla <http://www.nndc.bnl.gov/wallet/wallet05.pdf>, verifique que la partícula α (núcleo de ${}^4_2\text{He}$) es estable. Asimismo, muestre que no existe ningún núcleo estable con $A = 5$. Diga de qué modo decaen estos últimos.
2. Discuta la estabilidad del átomo de hidrógeno.
3. Usando el modelo de la gota líquida:
 - (a) Obtenga analíticamente cuál es la masa atómica del elemento que tiene mayor energía de ligadura por nucleón.
 - (b) Grafique –con ayuda del *Mathematica*– la energía de ligadura por nucleón en función del número atómico.
 - (c) Interprete sus resultados.
4. Considere la fusión de los distintos isótopos del hidrógeno en núcleos de ${}^4_2\text{He}$; a saber



Calcule las energías liberadas por reacción (ΔE) y determine cuáles procesos de decaimiento son posibles. Ordene las reacciones en función de valores crecientes de ΔE e indique con qué propiedad de los núcleos intervinientes está relacionado tal ordenamiento. Discuta la relación con el Problema 1.

5. Muestre analíticamente cuál es la predicción de la fórmula (semi)empírica de masas para el $Z_{estable}$ que da núcleos estables con A fijo.
 - a) Encuentre el/los núcleos estables para el caso $A = 92$ y justifíquelo. Haga un gráfico cualitativo de las predicciones para las masas en función de Z en un entorno de $Z_{estable}$ para el caso $A = 92$.
 - b) Calcule la masa, la energía de ligadura B , la energía de ligadura por nucleón B/A (en MeV) y las energías de separación de un neutrón y de un protón para el ${}^{92}_{41}\text{Nb}$ usando las masas experimentales. Vuelva a calcular la masa usando ahora la fórmula semiempírica, así como también la energía liberada en los decaimientos $\beta^{(+,-)}$ del ${}^{92}_{41}\text{Nb}$.
6. Calcule la energía de ligadura por nucleón B/A en el caso del ${}^{116}_{55}\text{Sb}$. Para ello, emplee nuevamente los datos de las masas de los núcleos que están en las tablas. Calcule, también, la energía de separación de un neutrón y de un protón.
7. Teniendo en cuenta el modelo de partícula independiente, indique los valores de J^π que espera hallar en el espectro de bajas energías de cada uno de los correspondientes núcleos: ${}^{55}_{27}\text{Co}$, ${}^{56}_{27}\text{Co}$, ${}^{56}_{28}\text{Ni}$, ${}^{57}_{28}\text{Ni}$.
8. En el caso de núcleos con dos partículas fuera de capa cerrada, no es posible determinar unívocamente el estado fundamental sin considerar la interacción residual entre las dos partículas, pero sí es predecir los estados más bajos.
 - (a) Encuentre el spin-paridad de los 4 estados más bajos del núcleo ${}^{40}_{19}\text{K}$, aunque no pueda indicar en que orden aparecen. Verifique que su resultado está de acuerdo con las observaciones experimentales.
 - (b) Indique los posibles valores de spin-paridad de los estados más bajos del ${}^{90}_{40}\text{Zr}$. Tenga en cuenta las restricciones que impone a los estados permitidos tener dos partículas idénticas fuera de capa cerrada.
9. Considere un núcleo compuesto por 3 neutrones en un nivel $p_{3/2}$ fuera de capa cerrada. Muestre que el postulado de indistinguibilidad y el principio de Pauli reduce de 64 a 4 el número de subestados posibles, y que estos corresponden a un agujero de neutrón en un nivel $p_{3/2}$. ¿Cuál es entonces el J^π de un núcleo $(p_{3/2})^3$?
10. Una partícula de carga q y masa m en trayectoria de rotación con impulso angular orbital L_z , genera un momento magnético $\mu_z = (q/2m)L_z$. Si se trata del impulso angular intrínseco S_z , la relación es $\mu_z = g(q/2m)S_z$, donde g se denomina “momento magnético anómalo” de la partícula. Para el protón y el neutrón éste vale 5.58 y -3.82 respectivamente. Así, el μ_z de un protón es $5.58(e/2m_p)(\hbar/2) = (5.58/2)(e\hbar/2m_p) = 2.79\mu_n$ donde $\mu_n \equiv e\hbar/2m_p$ es una unidad típica de momento magnético de partículas, denominada “magnetón nuclear”.

- Muestre que en efecto vale $\mu_z = (q/2m)L_z$ para el caso particular de un movimiento circular uniforme con radio R muy pequeño. (Si hizo FT1, puede mostrarlo en forma general).
- Calcule el momento magnético que genera un protón en un estado $p_{1/2}$. A partir del modelo de capas identifique un núcleo al que corresponde esto.
- Sabiendo que el estado fundamental del ^{14}N tiene spin 1, escriba la función de onda conjunta del agujero de protón y de neutrón, y calcule el momento magnético del ^{14}N a partir del momento magnético intrínseco del protón, del neutrón, y del impulso angular de ambos. (El resultado experimental $0.404 \mu_n$).
- Se toma al azar un protón en el estado fundamental $|11\rangle$ del ^{14}N . Cuál es la probabilidad que su spin sea paralelo al del núcleo? Es más probable encontrarlo paralelo o antiparalelo?

11. Para discutir:

- ¿A qué elemento y de qué modo van a parar todos los elementos con el tiempo? ¿Entonces en el infinito *todos* seremos ese elemento?
- ¿Sabe cómo funciona un reactor nuclear? ¿Sabe qué elemento se utiliza y con cuál reacción nuclear genera energía? ¿Sabe cómo se transforma esa energía en la energía eléctrica que llega a su casa?
- ¿Cuál es la diferencia entre *fisión* y *fusión*? ¿La energía que genera el Sol lo hace a través de fusión, fisión o las dos? ¿Y los reactores nucleares? ¿Cuánto sabe del proyecto de realizar un reactor que genere energía a través de *fusión*?
- Si hay una explosión nuclear cerca de casa, entre las cosas que se dice está envolverse en sábanas de colores claros o, también, tirarse a la pileta. ¿Tiene esto algún sustento científico? ¿O lo mejor es siempre correr?!

Datos nucleares: <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2>

Números para agendar

$$1 \text{ uma} = 931.5 \text{ MeV} \quad \hbar c = 197.3 \text{ MeV fm} \quad \alpha = \frac{e^2}{4\pi\hbar c} = \frac{1}{137.0}$$

$$M_p c^2 = 938.3 \text{ MeV} \quad M_n c^2 = 939.6 \text{ MeV} \quad M_e c^2 = 511 \text{ keV}$$

Fórmula semiempírica para la energía de ligadura

$$B(A, Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c Z^2 A^{-1/3} - a_a \frac{(2Z - A)^2}{A} + \delta A^{-1/2}$$

con

$$\delta = \begin{cases} \Delta & \text{par - par} \\ 0 & \text{par - impar} \\ -\Delta & \text{impar - impar} \end{cases}$$

$$a_v = 15.56 \text{ MeV}, a_s = 17.23 \text{ MeV}, a_c = 0.697 \text{ MeV}, a_a = 23.285 \text{ MeV} \text{ y } \Delta = 12.0 \text{ MeV}.$$