

ESTRUCTURA DE LA MATERIA 4
PRIMER CUATRIMESTRE DE 2025
PRÁCTICA 1: FÍSICA NUCLEAR

Sobre la formación de nucleidos

1. ¿Cual es la energía mínima que debe tener un proton para penetrar la barrera de Coulomb de otro protón y así poder iniciar la reacción que forma deuterones en una estrella?
2. Considere la fusión de los distintos isótopos del hidrógeno en núcleos de ${}^4\text{He}$:
 - a) ${}^2\text{H} + {}^3\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + n$
 - b) ${}^2\text{H} + {}^1\text{H} + n \rightarrow {}^4\text{He}$
 - c) ${}^1\text{H} + {}^1\text{H} + n + n \rightarrow {}^4\text{He}$
 - d) ${}^2\text{H} + {}^2\text{H} \rightarrow {}^4\text{He}$

Calcule las energías liberadas (Q) por cada reacción y determine cuáles son posibles. Ordene las reacciones en función de valores crecientes de Q e indique con qué propiedad de los núcleos intervinientes está relacionado dicho ordenamiento.

3. La regla de *Oddo-Harkins* establece que entre el carbono y el hierro, un elemento con un número atómico par es más abundante que sus vecinos con números atómicos impares. ¿Cómo puede explicarse teniendo en cuenta los procesos de nucleosíntesis estelar?
4. Usando la información disponible en la tabla de nucleidos:
 - a) Verifique que no existen núcleos estables con $A = 5$, ni con $Z = 43$.
 - b) Diga de qué modo decae cada uno de los isóbaros con $A = 5$.
 - c) Cuente cuántos isótopos e isótonos estables existen con Z o n igual a: 20, 28, 50, 82. Visualizar claramente porqué se los llama *números mágicos*.
5. Los rayos cósmicos, tanto solares (RCS) como galácticos (RCG), son responsables de la creación de algunos radionucleidos mediante el proceso de espalación. Escriba la ecuación diferencial que modela como varía su concentración en material extraterrestre en función del tiempo de exposición y obtenga una expresión para la concentración de equilibrio secular si se desprecia la producción debida a RCS.
6. ¿Por qué el Fe es el elemento más pesado que puede ser sintetizado durante la vida de una estrella?

Sobre los modelos nucleares

7. Encuentre analíticamente cuál es la predicción de la fórmula semiempírica de masas para el Z_{est} del núcleo estable para un dado valor de A .
 - a) Grafique las predicciones para el caso $A = 92$ en función de Z en un entorno del Z_{est} y diga cuantos isóbaros estables predice el modelo. Repítalo para $A = 91$.
 - b) ¿Cuántos isótopos estables espera en general para A par y cuantos para A impar? Verifique si esta predicción se cumple en la tabla de nucleidos.
 - c) 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 β^+ y β^- del ^{92}Nb .
8. Suponga que el potencial del modelo de capas puede aproximarse a orden cero por un oscilador armónico tridimensional de frecuencia $\hbar\omega = 8 \text{ MeV}$.
 - a) Grafique los niveles de energía hasta $N = 6$ inclusive, identificándolos con sus números cuánticos.
 - b) En realidad $V(r) \rightarrow 0$ para $r \rightarrow \infty$, y esto introduce una corrección que a primer orden puede representarse por $\Delta V_1 = -0,1 l^2 \text{ MeV}$, donde l es el número cuántico orbital del nivel. Grafique nuevamente los niveles incluyendo esta perturbación.
 - c) La interacción spin-órbita introduce una corrección adicional a la energía de la forma $\Delta V_2 = -1,6 (\mathbf{l} \cdot \mathbf{s}) \text{ MeV}$. Expresa ΔV_2 en función de l para $j = l \pm \frac{1}{2}$ ($\mathbf{j} = \mathbf{l} + \mathbf{s}$).
 - d) Grafique ahora los niveles incluyendo ambas correcciones y compare con el resultado experimental. ¿Que puede decir sobre los números mágicos del problema 1?

Sobre series radiactivas y reactores nucleares

9. Siga la cadena de desintegración del $^{235}_{92}\text{U}$ hasta llegar a un elemento estable nombrando cada uno de los radionucleidos que la conforman, su forma de decaimiento y período de semidesintegración. Identifique cual de los elementos es gaseoso a temperatura ambiente, informe su vida media y que cuidados deben tenerse en ambientes de zonas uraníferas.
10. ¿Cuántos años transcurrieron desde que la relación isotópica $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ natural fue la misma que hoy se usa en los elementos combustibles del reactor nuclear Atucha I ($^{235}\text{U}/^{238}\text{U} \sim 0.85 \%$)?
11. Determine a que distancia debe encontrarse de Atucha I (1 GW_{th}) y II (2 GW_{th}), para recibir más antineutrinos del Sol ($\Phi_{sol} \sim 7 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) que de los reactores nucleares que se encuentran a 100 km del aula. Asuma que por cada fisión que tiene lugar en el núcleo del reactor, se producen en total seis antineutrinos.

12. Sobre el funcionamiento de un reactor nuclear

- a) Describa brevemente el tipo de reacción en la que opera un reactor de fisión nuclear.
- b) ¿Por qué se libera energía y aproximadamente cuánta por reacción?
- c) ¿Por qué los productos de la reacción son radiactivos?
- d) ¿Por qué es necesario un moderador? ¿Se prefieren elementos ligeros o pesados para los moderadores? ¿Por qué?
- e) ¿Por qué los reactores de potencia en argentina usan agua pesada?
- f) ¿Cuántas fisiones por unidad de tiempo deben tener lugar en el núcleo del reactor argentino Atucha-II para alcanzar su potencia térmica máxima de 2 GW?

Miscelaneas

- 13. Sabiendo que la relación isotópica $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ en materia viva es aproximadamente $1,31 \times 10^{-12}$ y que la vida media del ^{14}C es de 5730 años, determine la edad del Sudario de Turín si la relación isotópica medida por Espectrometría de Masas con Aceleradores (AMS, por sus siglas en inglés) es de $1,21 \times 10^{-12}$.
- 14. El ^{18}F se utiliza en la Tomografía por Emisión de Positrones (PET, por sus siglas en inglés). Esta herramienta de diagnóstico permite obtener imágenes tridimensionales de diferentes órganos del cuerpo humano con altísima resolución. Busque como decae el ^{18}F y su vida media y sobre la base del proceso subsiguiente a dicho decaimiento (teniendo en cuenta conservación de la energía y del momento), describa la técnica de reconstrucción de imágenes.
- 15. En una instalación de producción de isótopos, el ^{99}Mo se produce a una tasa de 10 mCi/h, mientras que decae con su constante de desintegración característica formándose ^{99m}Tc que también decae. Calcule la tasa de crecimiento de la actividad de ambos radionucleidos y grafique la relación entre sus actividades en función del tiempo. ¿Qué valor toma dicho cociente en equilibrio transitorio? Discuta como conviene entonces transportar el ^{99m}Tc desde el reactor donde se produce (RA-3) para que llegue la mayor actividad posible a un hospital.
- 16. Las partículas cargadas son mínimamente ionizantes (MIP, por sus siglas en inglés) cuando $\beta\gamma = 3$. Calcular la energía cinética a la que deben moverse los átomos de carbono para encontrarse en ese régimen.

Tabla de nucleidos y datos nucleares

<http://www.nndc.bnl.gov>

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

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

$$a_v = 15,56 \text{ MeV}, a_s = 17,23 \text{ MeV}, a_c = 0,697 \text{ MeV}, a_a = 23,285 \text{ MeV} \text{ y } \Delta = 12,0 \text{ MeV}.$$