Estructura y transición dipolar eléctrica $1^- \rightarrow 0^+_{gs}$ del núcleo borromeano ^{11}Li

Lisandro Moyano[1]*, Rodolfo Id Betan[1,2]

[1] Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA, UNR)

[2] Instituto de Física Rosario (IFIR, CONICET-UNR), Rosario, Argentina

*lisandromoyano@hotmail.com.ar

XX Jornadas de Ciencias, Tecnologías e Innovación

Motivación

El ^{11}Li es un núcleo borromeano débilmente ligado, con un halo de dos neutrones. Este halo se puede explicar a partir de su baja energía de separación S_{2n} ~ 300 keV. Su estructura extendida y poco ligada da lugar a propiedades exóticas, características de los núcleos alejados de la estabilidad, como por ejemplo un radio nuclear que se devía fuertemente de la regla general para isótopos y una gran probabilidad de transición E1 a muy baja energía de excitación (1 MeV), mucho menor a las de nucleos normales (10 a 20 MeV).

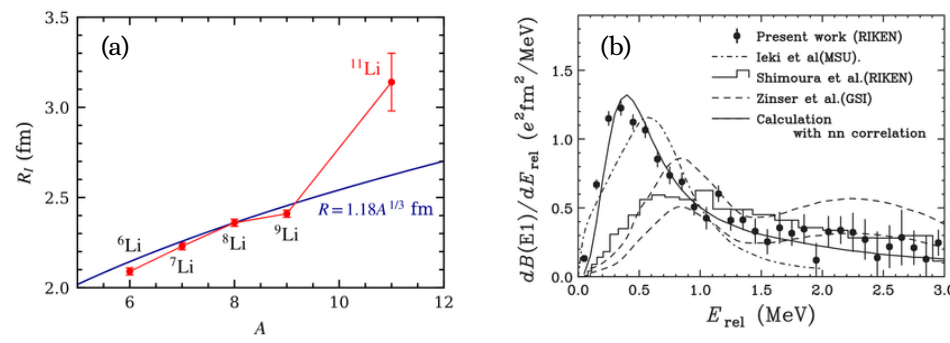


Figura 1: (a) Desviación de la sistemática del radio nuclear de ^{11}Li. (b) Probabilidad de transición E1 por unidad de energía del ^{11}Li [Nakamura PRL 96, 252502 (2006)].

Núcleos atómicos y fuerza nuclear fuerte

Núcleos. Son más pequeños que los átomos en varios órdenes de magnitud (Figura 2).
Están compuestos por protones (partículas cargadas positivamente) y neutrones (partículas neutras).

Protones y neutrones. No son partículas fundamentales, están formados por *quarks* de distintos *sabores* y *colores*, que interactúan entre sí a través de una partícula mediadora llamada *gluón*, de acuerdo con el *Modelo Estándar de Física de Partículas* (Figura 3).

La interacción entre protones y neutrones se denomina fuerza nuclear y surge a partir del Modelo Estándar, y la partícula que actúa de mediadora se denomina *pión* (Figura 4).

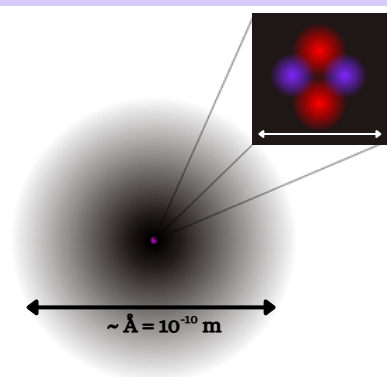


Figura 2: Representación del tamaño de un núcleo de ^{4}He.

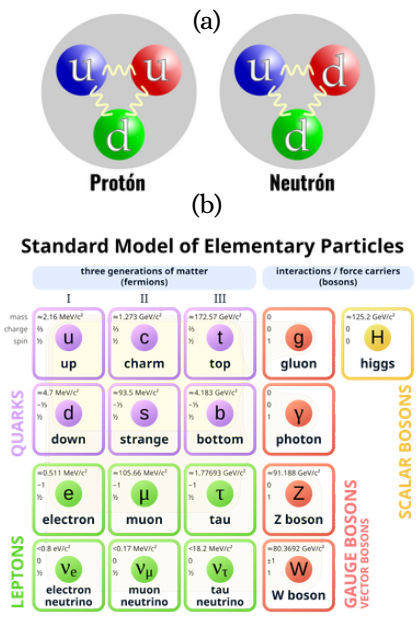


Figura 3: (a) Estructura interna de protón y neutrón. (b) Modelo Estándar de Física de partículas.

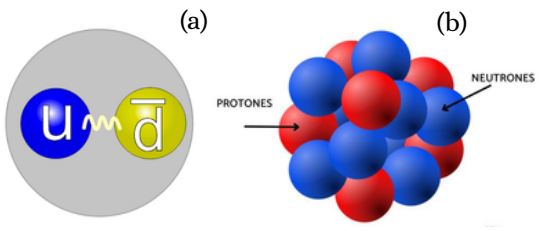


Figura 4: (a) Estructura del pión. (b) Representación de un núcleo.

Validación del método: núcleo estable ^{18}O

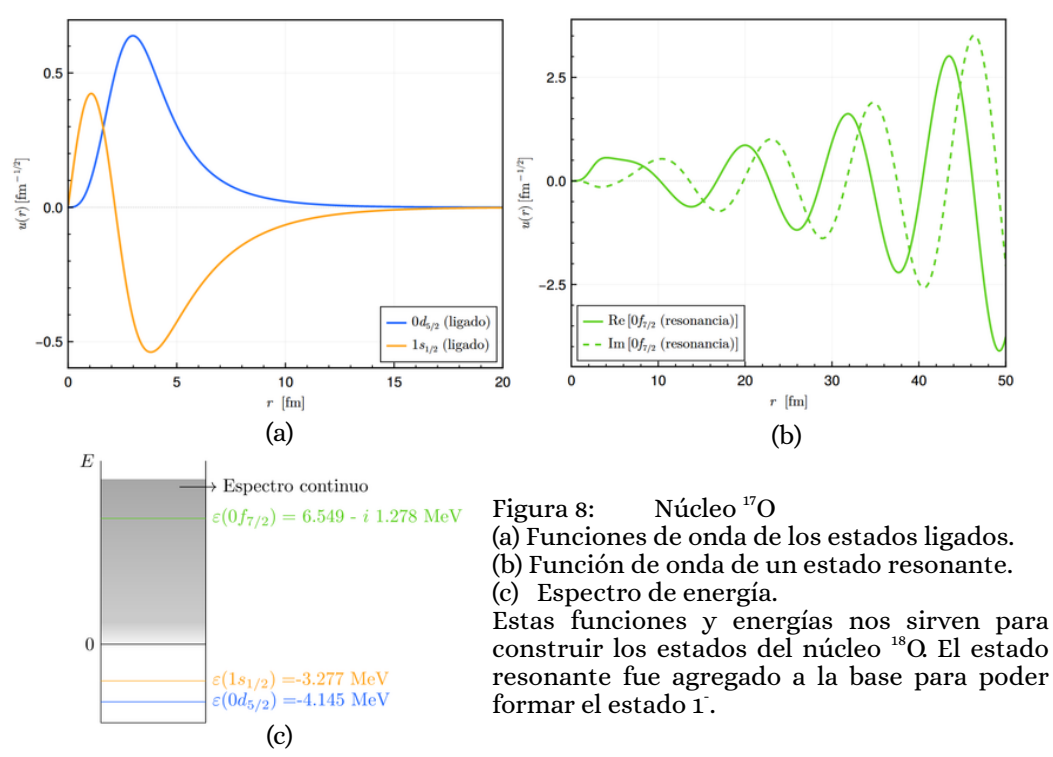


Figura 8: Núcleo ^{17}O
(a) Funciones de onda de los estados ligados.
(b) Función de onda de un estado resonante.
(c) Espectro de energía.
Estas funciones y energías nos sirven para construir los estados del núcleo ^{18}O. El estado resonante fue agregado a la base para poder formar el estado 1^-.

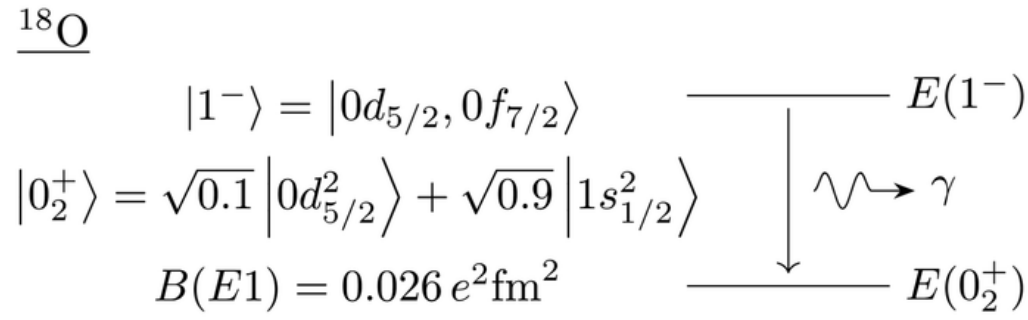


Figura 9: Transición energética dipolar eléctrica entre el estado 1^- y el estado 0^+_2 del ^{18}O
El estado *0f7/2* solo fue utilizado para el estado 1^- y no se utilizaron estados de dispersión.

Marco teórico

Estudiamos núcleos alejados del valle de estabilidad, cercanos a la ***línea de goteo*** de neutrones (Figura 4).

Trabajamos a ***bajas energías***, es decir, no tenemos en cuenta la estructura interna de protones y neutrones.

Utilizamos el formalismo de la ***Mecánica Cuántica*** para estudiar la estructura de los núcleos, resolviendo la ***ecuación de Schrödinger*** para un número de partículas ***A = Z + N, Z protones y N neutrones***.(Figura 5 (a))

Caracterizamos a los núcleos mediante su ***espectro de energías*** y sus ***funciones de onda*** (Figura 5 (b)). En particular, nos interesa explicar cómo los núcleos pasan de un estado de energía a otro.

Para estudiar las transiciones energéticas (Figura 6) calculamos la llamada ***probabilidad de transición B(σ, λ)***, que caracteriza el tiempo de vida de los estados.

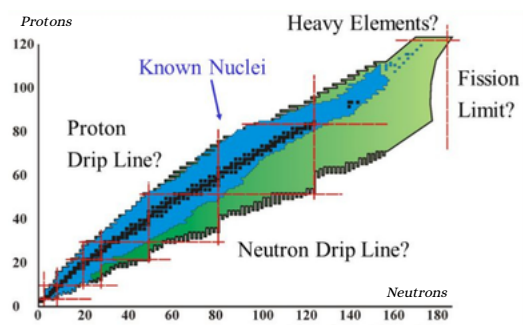


Figura 5: Tabla de nucleídos.

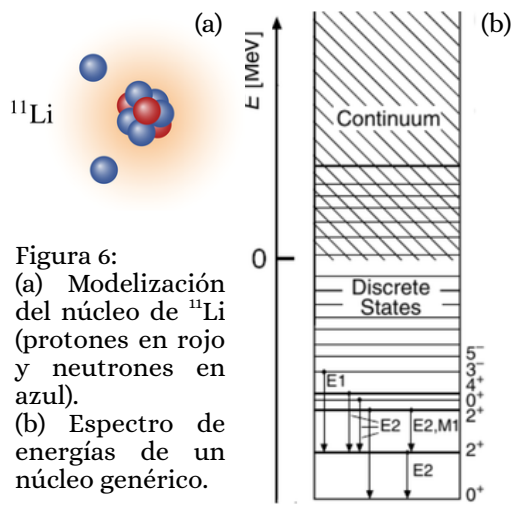


Figura 6:
(a) Modelización del núcleo de ^{11}Li (protones en rojo y neutrones en azul).
(b) Espectro de energías de un núcleo genérico.

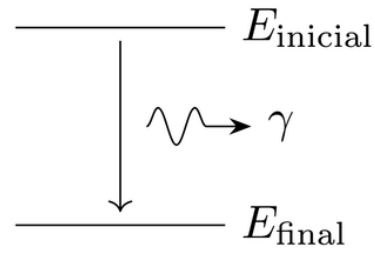


Figura 7: Transición energética mediante emisión de radiación gamma.

Núcleo de interés: ^{11}Li

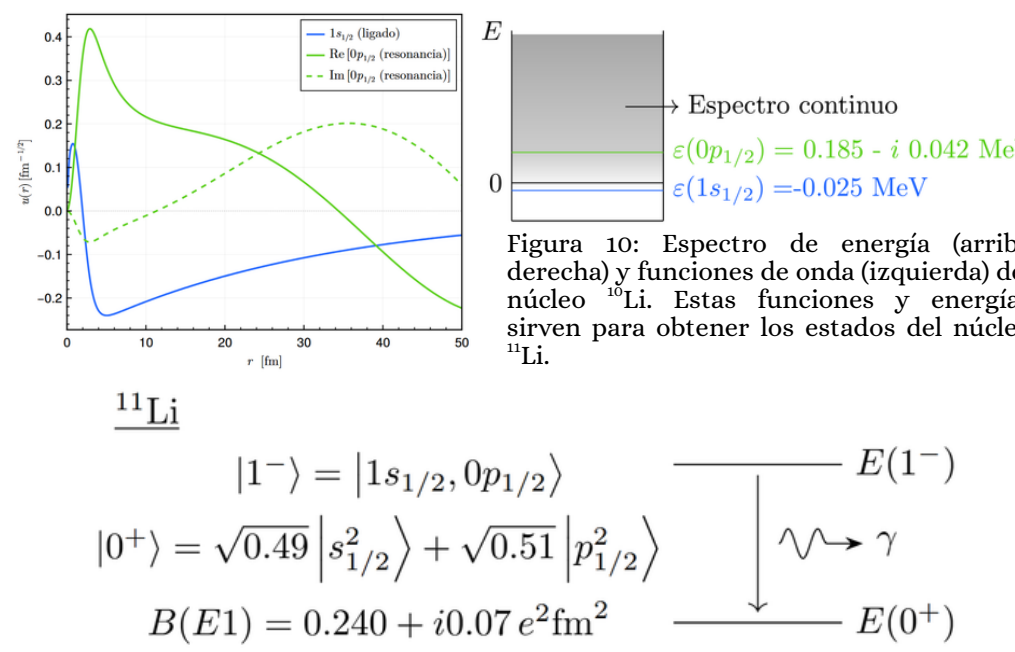


Figura 10: Espectro de energía (arriba derecha) y funciones de onda (izquierda) del núcleo ^{10}Li. Estas funciones y energías sirven para obtener los estados del núcleo ^{11}Li.

^{11}Li

Figura 11: Transición energética dipolar eléctrica entre el primer estado excitado y el estado fundamental del ^{11}Li. El estado 1^- lo consideramos puro, sin contribución del continuo. La carga efectiva del neutrón se tomó como *-Z/A e*, como indica la sistemática.

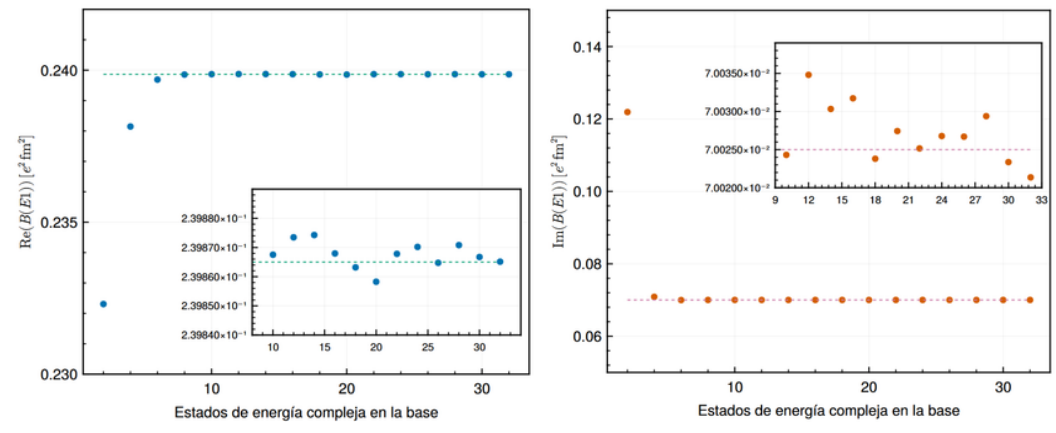


Figura 12: Análisis de convergencia del cálculo de la probabilidad de transición *B(E1)*, en función de la cantidad de estados de la base.

Conclusiones

Calculamos la transición puntual *B(E1, $1^- \rightarrow 0^+$)* para ^{18}O y ^{11}Li. El valor obtenido de B(E1) para el ^{11}Li es notablemente más grande que aquel del ^{18}O como era de esperarse. En el caso del oxígeno obtuvimos valores del mismo orden de magnitud que valores experimentales para el caso del oxígeno, y en el caso del litio, valores que discrepan de los resultados experimentales [Nakamura PRL 96, 252502 (2006)] [Fernández-García PRC,92,044608 (2015)]. La discrepancia puede deberse a la falta de estados de dispersíon en el estado 1^-, y a una subestimación de la carga efectiva del neutrón.