

EFN-2010: Influencia de las fluctuaciones de apareamiento en teorías más allá del campo medio

Nuria López Vaquero

J.Luis Egido y Tomás R. Rodríguez

El Escorial, Madrid. 27-29 Septiembre 2010



Outline

- 1 Motivación
- 2 Introducción Teórica
 - HFB
 - Métodos de Proyección
 - Método GCM
 - Ejemplo 1D
 - Una nueva coordenada Δ
- 3 Resultados
 - Superficies de energía potencial en 2D para el ^{54}Cr
 - Espectros de excitación del ^{54}Cr
 - Extensión del análisis para el ^{52}Ti y el ^{50}Ca
 - Cierres de capa $N=32$ y $N=34$
- 4 Conclusiones y perspectivas

Motivaciones

- Descubrimientos para núcleos exóticos con nuevas técnicas experimentales
- Avance de la computación científica \Rightarrow Mejoras en los cálculos teóricos
- Progresos F. Nuclear teórica paralelos a la parte experimental \Rightarrow Cálculos más allá del campo medio.

Aproximación de campo medio (SMF). Método de HFB

- Aproximación de campo medio (SMF). Método de HFB:
 - Núcleo \Rightarrow Sistema de partículas o cuasipartículas, no interactúan entre sí y sometidas a un potencial externo que liga el sistema.
 - Para calcular dicho potencial \Rightarrow Método de HFB

$$|\Phi\rangle = \beta_1 \dots \beta_M |-\rangle$$

$$E_{\text{HFB}}(q_i) = \frac{\langle \Phi(q_i) | (\hat{H} - \lambda_N \hat{N} - \lambda_i \hat{Q}) | \Phi(q_i) \rangle}{\langle \Phi(q_i) | \Phi(q_i) \rangle}$$

Con las ligaduras:

$$\langle \Phi(q_i) | \hat{N} | \Phi(q_i) \rangle = N$$

$$\langle \Phi(q_i) | \hat{Q} | \Phi(q_i) \rangle = q_i$$

- Se admite la ruptura espontánea de simetrías del hamiltoniano en el sistema intrínseco (número de partículas, invariancia rotacional...)

BMF I: Métodos de Proyección

- Más allá de la aproximación de campo medio (BMF):
 - Descripción correcta núcleo. Restaurar simetrías \Rightarrow Técnicas de proyección:

$$|\Phi\rangle = \hat{P}'_M \dots \hat{P}^N \hat{P}^Z |\phi\rangle$$

con \hat{P} el correspondiente operador de simetría.

- Distinguimos dos tipos:
 - Variación después de la proyección **VAP** \Rightarrow **PN-VAP**.

$$E_{\text{VAP}}(q_i) = \frac{\langle \Phi(q_i) | (\hat{H} - \lambda_i \hat{Q}) P^N | \Phi(q_i) \rangle}{\langle \Phi(q_i) | P^N | \Phi(q_i) \rangle}$$

- Proyección después de la variación **PAV** \Rightarrow **AMP, PNP, PNAMP**

$$E^{N,J}(q_i) = \frac{\langle \Phi(q_i) | \hat{H} \hat{P}^N \hat{P}^J | \Phi(q_i) \rangle}{\langle \Phi(q_i) | \hat{P}^N \hat{P}^J | \Phi(q_i) \rangle}$$

BMF II: Mezcla de configuraciones

- Método de la coordenada generadora GCM: f.o. como una combinación lineal de f.o tipo producto con las simetrías ya restauradas.

Se propone como solución prueba:

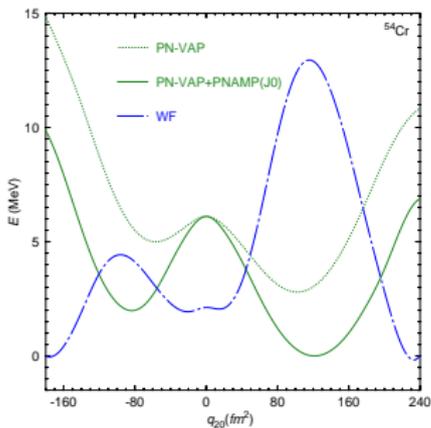
$$|\Psi^{NJ\sigma}\rangle = \int f^{NJ\sigma}(\vec{q}) |\Phi^{NJ}(\vec{q})\rangle d\vec{q}$$

Donde:

- $f^{NJ\sigma}(\vec{q}) \rightarrow$ Es el peso de las funciones generadoras. Van a ser determinados de forma variacional resolviendo la ecuación de Hill-Wheeler-Griffin.
- $\{\vec{q}\}$ Conjunto de coordenadas generadoras $\Rightarrow \{\vec{q}\} = \{q_{20}, \Delta\}$.

Ejemplo de una superficie de energía potencial (PES) en 1D para el ^{54}Cr

- Cálculos desarrollados en una base O.A. triaxial en un espacio de configuración de 8 capas y con la Interacción de Gogny D1S.



$$\langle \Phi(q_{20}) | \hat{Q}_{20} | \Phi(q_{20}) \rangle = q_{20}$$

$$E_{\text{VAP}}^{1D} = \frac{\langle \Phi_{\text{VAP}}(q_{20}) | \hat{H} P^N | \Phi_{\text{VAP}}(q_{20}) \rangle}{\langle \Phi_{\text{VAP}}(q_{20}) | \Phi_{\text{VAP}}(q_{20}) \rangle}$$

OBJETIVO: Estudio de más grados de libertad \Rightarrow Fluctuaciones de apareamiento (Δ)

Inclusión del grado de libertad Δ

- Fluctuaciones de apareamiento:
 - q_{20}
 - Δ
- Dentro del marco BCS para una fuerza pura de apareamiento.

$$\Delta = G \sum_{k>0} u_k v_k$$

$$E_{\text{pairing}} = \frac{\Delta^2}{G}$$

- Operador para constreñir en $\Delta \Rightarrow \Delta N^2$

Definido:

$$\Delta N^2 = \langle \Phi_{\text{BCS}} | \hat{N}^2 | \Phi_{\text{BCS}} \rangle - N^2 = 4 \sum_k u_k^2 v_k^2$$

Cálculo de la energía con dos grados de libertad.

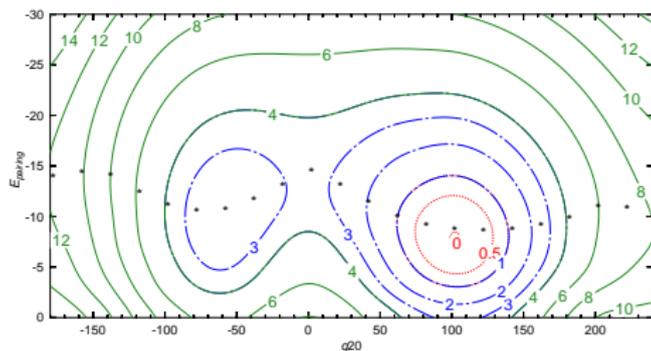
- Obtener para cada q_{20} fijo la solución autoconsistente \Rightarrow Representar E vs E_{pairing}
- Fijando un valor de q_{20} y constreñir en el nuevo grado de libertad:

$$\langle \Phi(q_{20}, \Delta) | \hat{\Delta} | \Phi(q_{20}, \Delta) \rangle = \Delta$$

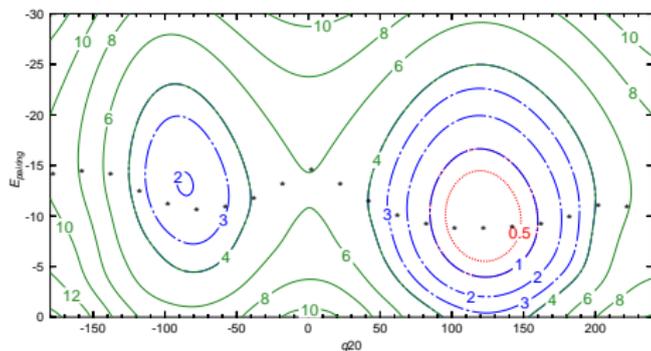
- Variar q_{20} -180 240 $fm^2 \Rightarrow$ Obtención PES 2D!

$$E_{\text{VAP}}^{2D} = \frac{\langle \Phi_{\text{VAP}}(q_{20}, \Delta) | \hat{H}P^N | \Phi_{\text{VAP}}(q_{20}, \Delta) \rangle}{\langle \Phi_{\text{VAP}}(q_{20}, \Delta) | \Phi_{\text{VAP}}(q_{20}, \Delta) \rangle}$$

PES 2D para el ^{54}Cr



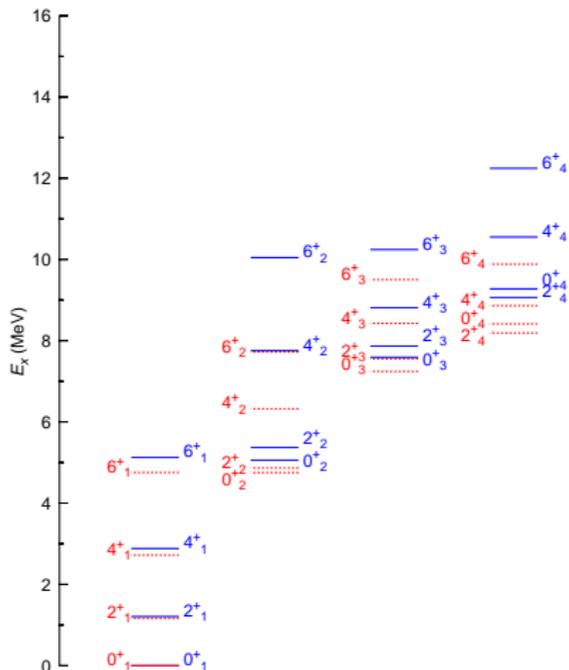
● PN-VAP



● PN-
VAP+PNAMP
($J=0$)

Espectros de excitación para el ^{54}Cr

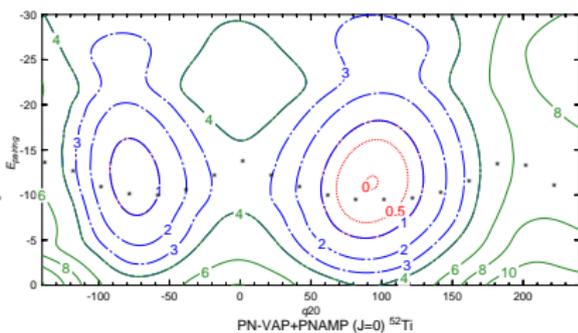
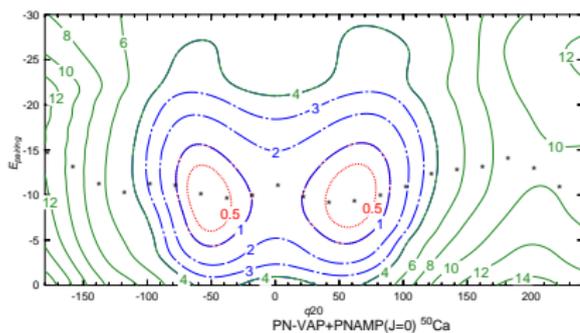
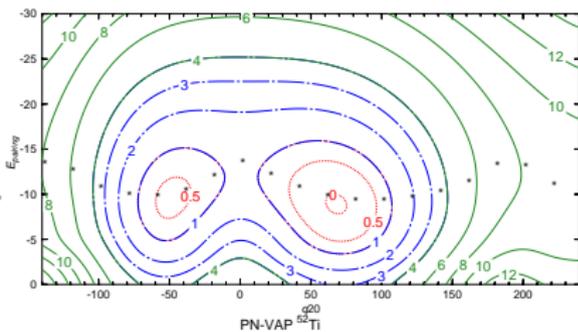
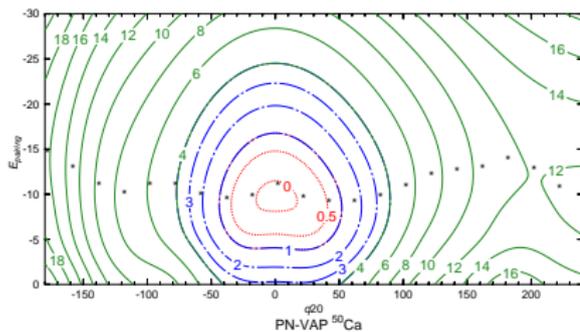
^{54}Cr

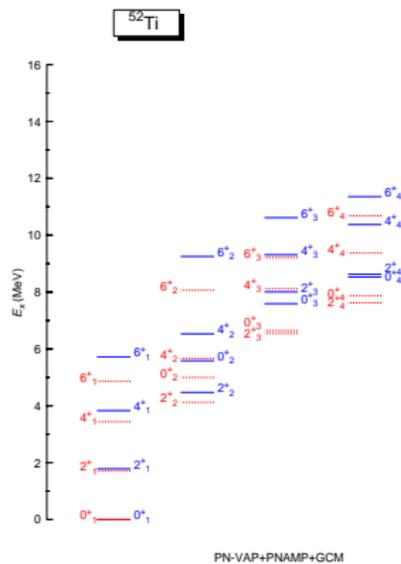
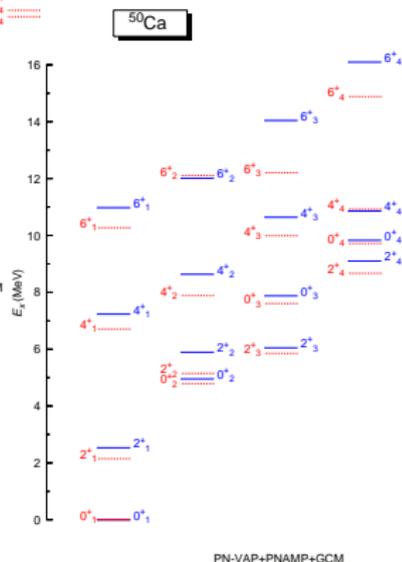
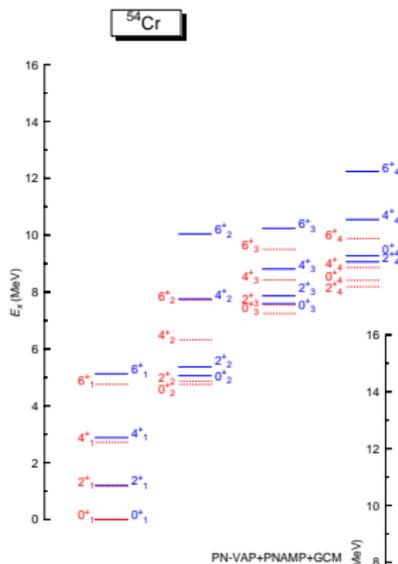


● q_{20}

● $q_{20} + \Delta$

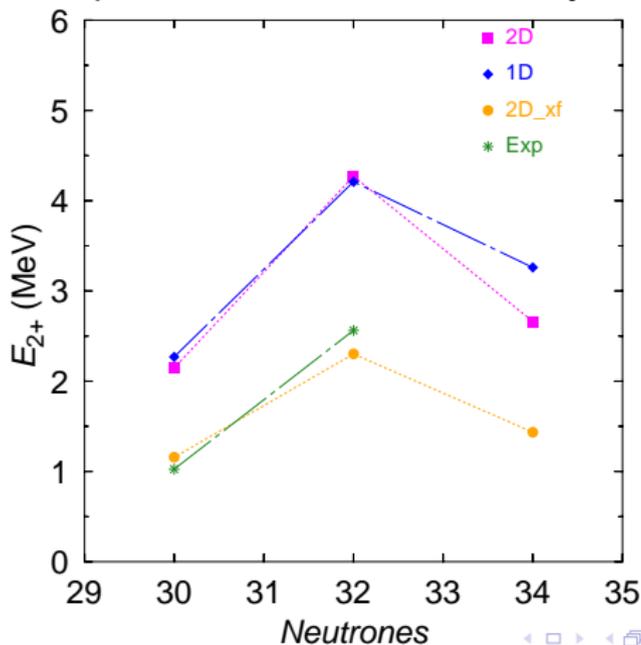
PES 2D y espectros de excitación para el ^{52}Ti y ^{50}Ca





Cierres de capa N=32 y N=34

Energías de excitación para el estado 2^+ (PN-VAP+PNAMP+GCM)
para la cadena isotópica del Calcio: ^{50}Ca , ^{52}Ca y ^{54}Ca .



Conclusiones y perspectivas

Se ha estudiado el efecto de la influencia de las fluctuaciones de apareamiento con técnicas más allá del campo medio, con los siguientes resultados:

- El método GCM con f.o. intrínsecas PN-VAP proyectadas a buen N y buen J en 2D es el que ofrece una mejor aproximación a la solución real del sistema.
 - Incluye de forma apropiada las correlaciones de apareamiento.
 - El espectro obtenido al incluir Δ (más comprimido) más acorde con lo obtenido experimentalmente.
- El cálculo de $E(2^+)$ en la cadena isotópica del Calcio se muestra de acuerdo con el cierre de capa N=32 pero no para N=34.

Conclusiones y perspectivas

Se ha estudiado el efecto de la influencia de las fluctuaciones de apareamiento con técnicas más allá del campo medio, con los siguientes resultados:

- El método GCM con f.o. intrínsecas PN-VAP proyectadas a buen N y buen J en 2D es el que ofrece una mejor aproximación a la solución real del sistema.
 - Incluye de forma apropiada las correlaciones de apareamiento.
 - El espectro obtenido al incluir Δ (más comprimido) más acorde con lo obtenido experimentalmente.
- El cálculo de $E(2^+)$ en la cadena isotópica del Calcio se muestra de acuerdo con el cierre de capa $N=32$ pero no para $N=34$.

- Extender este análisis en 2D a otros sistemas y observables, p.ej. núcleos pesados y superpesados.
- Introducir progresivamente y por orden de importancia más grados de libertad en el sistema.
- Incorporación de estados de más cuasipartículas y tratamiento adecuado de los grados de libertad monoparticulares que permitan la descripción de núcleos impares.