

Teoria delle funzioni di base correlata per la descrizione dei nuclei

Giampaolo Co'

Dipartimento di Fisica Università di Lecce
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Sez. di Lecce

A. Fabrocini	(Pisa)
S. Fantoni	(SISSA-Trieste)
I. Lagaris	(Ioannina)
F. Arias de Saavedra	(Granada)
C. Bisconti	(Lecce)

F. Arias de Saavedra, C. Bisconti, G. Co', and A. Fabrocini

Renormalized Fermi hypernetted chain approach in medium-heavy nuclei

Physics Report 450 (2007) 1.
(arXiv:0706.3792)

Scopo

Descrizione del nucleo come sistema di particelle interagenti

Scopo

Descrizione del nucleo come sistema di particelle interagenti

Ipotesi

- Nucleoni privi di struttura interna
- Interazione fissata dai sistemi di due nucleoni
- Effetti relativistici trascurabili

Scopo

Descrizione del nucleo come sistema di particelle interagenti

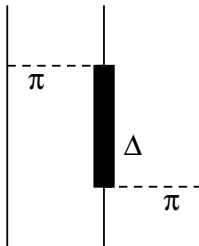
Ipotesi

- Nucleoni privi di struttura interna.
- Interazione fissata dai sistemi di due nucleoni.
- Effetti relativistici trascurabili.

Il problema da risolvere

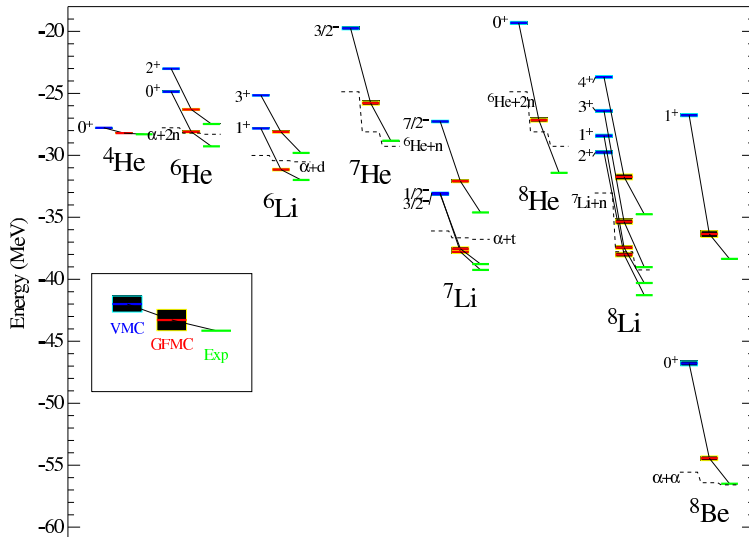
Soluzione dell'equazione di Schrödinger per un sistema a molti corpi

$$H = \sum_i T_i + \sum_{i < j} V(i, j) + \sum_{i < j < k} V(i, j, k)$$



Introduzione

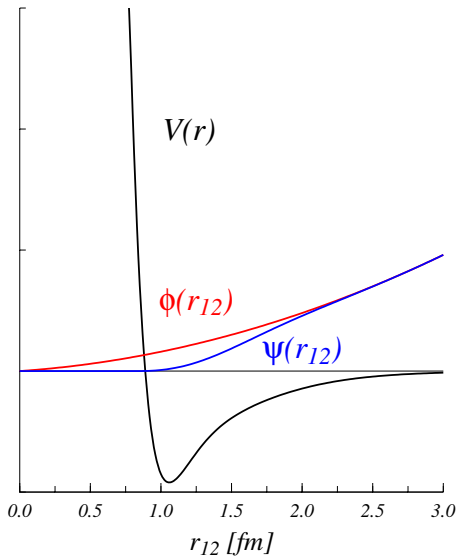
S.C. Pieper and R.B. Wiringa, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 51 (2001) 53.



Numero di configurazioni di spin e isospin per alcuni nuclei.

$$N_{conf} = 2^A \frac{A!}{Z!(A-Z)!}$$

Nucleo	Z	N=A-Z	N_{conf}
^3H	1	2	24
^3He	2	1	24
^4He	2	2	96
^6He	2	4	960
^6Li	3	3	1280
^8He	2	6	7168
^{12}C	6	6	3,784,704
^{16}O	8	8	$8.4 \cdot 10^8$
^{40}Ca	20	20	$1.5 \cdot 10^{23}$
^{48}Ca	20	28	$4.7 \cdot 10^{27}$



- Sistemi bosonici infiniti (HNC).
- Sistemi fermionici infiniti (FHNC).
- Correlazioni dipendenti dall'operatore (FHNC/SOC).
- Nuclei (RFHNC/SOC).
- Risultati: energie di legame, distribuzioni di carica e di momento, fattori spettroscopici, funzioni d'onda di quasi-particella per ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca , ^{208}Pb .

- Sistemi bosonici infiniti (HNC).
- Sistemi fermionici infiniti (FHNC).
- Correlazioni dipendenti dall'operatore (FHNC/SOC).
- Nuclei (RFHNC/SOC).
- Risultati: energie di legame, distribuzioni di carica e di momento, fattori spettroscopici, funzioni d'onda di quasi-particella per ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca , ^{208}Pb .

- Sistemi bosonici infiniti (HNC).
- Sistemi fermionici infiniti (FHNC).
- Correlazioni dipendenti dall'operatore (FHNC/SOC).
- Nuclei (RFHNC/SOC).
- Risultati: energie di legame, distribuzioni di carica e di momento, fattori spettroscopici, funzioni d'onda di quasi-particella per ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca , ^{208}Pb .

- Sistemi bosonici infiniti (HNC).
- Sistemi fermionici infiniti (FHNC).
- Correlazioni dipendenti dall'operatore (FHNC/SOC).
- Nuclei (RFHNC/SOC).
- Risultati: energie di legame, distribuzioni di carica e di momento, fattori spettroscopici, funzioni d'onda di quasi-particella per ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca , ^{208}Pb .

- Sistemi bosonici infiniti (HNC).
- Sistemi fermionici infiniti (FHNC).
- Correlazioni dipendenti dall'operatore (FHNC/SOC).
- Nuclei (RFHNC/SOC).
- Risultati: energie di legame, distribuzioni di carica e di momento, fattori spettroscopici, funzioni d'onda di quasi-particella per ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca , ^{208}Pb .

Principio Variazionale

$$\delta E[\Psi] = \delta \left[\frac{\langle \Psi | H | \Psi \rangle}{\langle \Psi | \Psi \rangle} \right] = 0$$

$$\Psi(1, 2, \dots, A) = F(1, 2, \dots, A) \Phi(1, 2, \dots, A)$$

$$F(1, 2, \dots, A) = \prod_{i < j} f(r_{ij})$$

Funzione di distribuzione a due corpi

$$g(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \frac{A(A-1) \int d\mathbf{x}_3 \dots d\mathbf{x}_A \Psi^*(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_A) \Psi(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_A)}{\rho^2 \int d\mathbf{x}_1 d\mathbf{x}_2 \dots d\mathbf{x}_A \Psi^*(\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_A) \Psi(\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_A)}$$

$$\langle O \rangle = \frac{1}{2} \rho^2 \int d\mathbf{x}_1 d\mathbf{x}_2 g(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) O(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$$

$$g(x_1, x_2) = \frac{A(A-1) \int dx_3 \dots dx_A \Phi^*(x_1, \dots, x_A) F^* F \Phi(x_1, \dots, x_A)}{\rho^2 \int dx_1 dx_2 \dots dx_A \Phi^*(x_1, \dots, x_A) F^* F \Phi(x_1, \dots, x_A)}$$

Numeratore

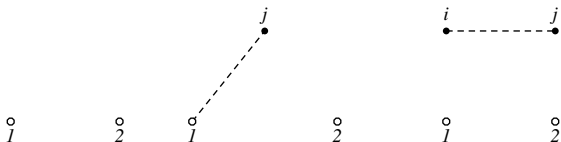
$$\mathcal{N} = A(A-1) \int dx_3 dx_4 \dots dx_A \frac{\rho^{A-2}}{A^A} \prod_{i < j} f^2(r_{ij})$$

$$f^2(r_{ij}) = 1 + h(r_{ij})$$

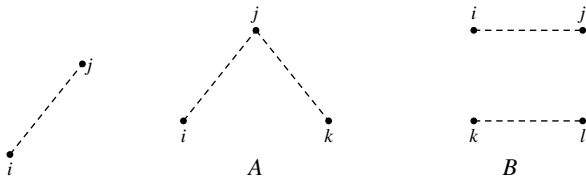
$$\prod_{i < j} f^2(r_{ij}) = f^2(r_{12})[1 + h(r_{13})][1 + h(r_{14})] \dots [1 + h(r_{34})] \dots$$

$$\mathcal{N} \sim f^2(r_{12}) \left[1 + \mathcal{A} \sum_{j>2} \int dx_j h(r_{1j}) + \mathcal{B} \sum_{j>i>2} \int dx_i dx_j h(r_{ij}) + \dots \right]$$

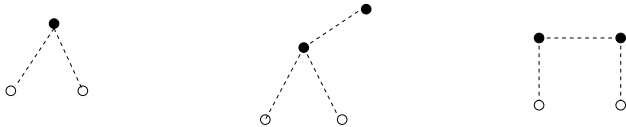
$$\mathcal{N} \sim f^2(r_{12}) \left[1 + \mathcal{A} \sum_{j>2} \int dx_j h(r_{1j}) + \mathcal{B} \sum_{j>i>2} \int dx_i dx_j h(r_{ij}) + \dots \right]$$



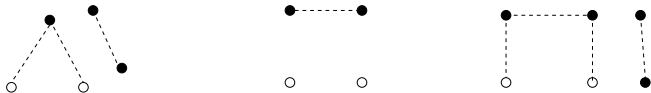
Denominatore



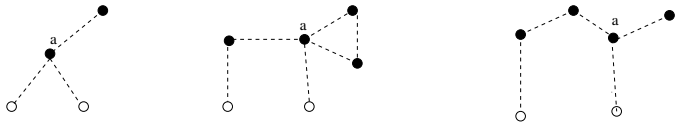
LINKED

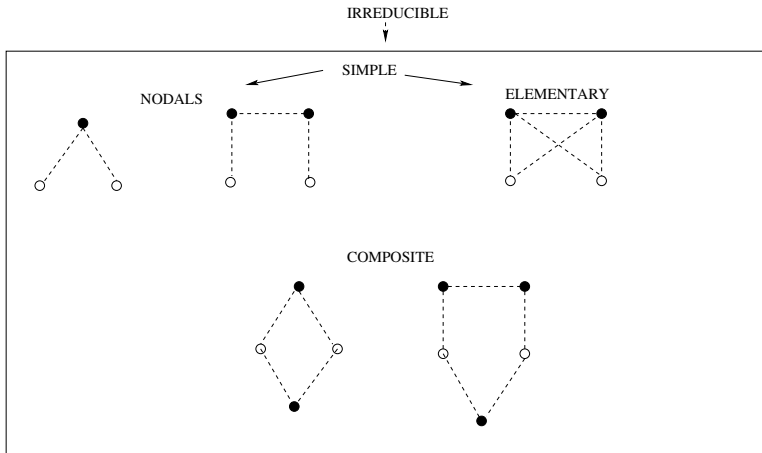


UNLINKED



REDUCIBLE





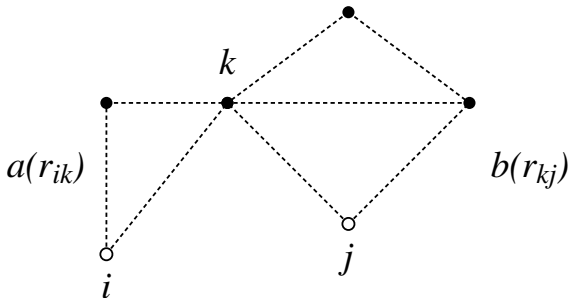
$$g(r_{12}) = f^2(r_{12}) [1 + S(r_{12}) + C(r_{12})]$$

$$C(r_{12}) = \frac{S^2(r_{12})}{2!} + \frac{S^3(r_{12})}{3!} + \frac{S^4(r_{12})}{4!} + \dots$$

$$\begin{aligned} g(r_{12}) &= f^2(r_{12}) \left[1 + S(r_{12}) + \frac{S^2(r_{12})}{2!} + \frac{S^3(r_{12})}{3!} + \dots \right] \\ &= f^2(r_{12}) e^{S(r_{12})} \end{aligned}$$

$$S(r_{ij}) = N(r_{ij}) + E(r_{ij})$$

Costruzione dei diagrammi nodali



$$\int d\vec{r}_k a(r_{ik}) b(r_{kj}) \rho(\vec{r}_k) \equiv \left(a(r_{ik}) | \rho(\vec{r}_k) b(r_{kj}) \right)$$

Equazioni HNC

$$\begin{aligned}g(r_{12}) &= f^2(r_{12}) e^{N(r_{12}) + E(r_{12})} \\&= [1 + h(r_{12})] [1 + N(r_{12}) + E(r_{12}) + \dots] \\&= [1 + N(r_{12}) + X(r_{12})]\end{aligned}$$

$$X(r_{12}) = g(r_{12}) - 1 - N(r_{12})$$

$$N(r_{12}) = \left(X(r_{1k}) |\rho(\mathbf{r}_k)| [N(r_{k2}) + X(r_{k2})] \right)$$

Equazioni HNC

$$\begin{aligned}
 g(r_{12}) &= f^2(r_{12}) e^{N(r_{12}) + E(r_{12})} \\
 &= [1 + h(r_{12})] [1 + N(r_{12}) + E(r_{12}) + \dots] \\
 &= [1 + N(r_{12}) + X(r_{12})]
 \end{aligned}$$

$$X(r_{12}) = g(r_{12}) - 1 - N(r_{12})$$

$$N(r_{12}) = \left(X(r_{1k}) | \rho(\mathbf{r}_k) [N(r_{k2}) + X(r_{k2})] \right)$$

Valori di partenza:

$$N(r_{12}) = 0 \quad X(r_{12}) = f^2(r_{12}) - 1 = h(r_{12})$$

I passi per ottenere le equazioni HNC

- 1 Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- 2 Eliminazione diagrammi non connessi
- 3 Eliminazione diagrammi riducibili
- 4 Diagrammi composti sono somma di potenze di nodali ed elementari
- 5 Espressione **chiusa** per il calcolo dei nodali

I passi per ottenere le equazioni HNC

- 1 Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- 2 Eliminazione diagrammi non connessi
- 3 Eliminazione diagrammi riducibili
- 4 Diagrammi composti sono somma di potenze di nodali ed elementari
- 5 Espressione **chiusa** per il calcolo dei nodali

I passi per ottenere le equazioni HNC

- 1 Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- 2 Eliminazione diagrammi non connessi
- 3 Eliminazione diagrammi riducibili
- 4 Diagrammi composti sono somma di potenze di nodali ed elementari
- 5 Espressione **chiusa** per il calcolo dei nodali

I passi per ottenere le equazioni HNC

- 1 Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- 2 Eliminazione diagrammi non connessi
- 3 Eliminazione diagrammi riducibili
- 4 Diagrammi composti sono somma di potenze di nodali ed elementari
- 5 Espressione **chiusa** per il calcolo dei nodali

I passi per ottenere le equazioni HNC

- 1 Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- 2 Eliminazione diagrammi non connessi
- 3 Eliminazione diagrammi riducibili
- 4 Diagrammi composti sono somma di potenze di nodali ed elementari
- 5 Espressione chiusa per il calcolo dei nodali

I passi per ottenere le equazioni HNC

- 1 Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- 2 Eliminazione diagrammi non connessi
- 3 Eliminazione diagrammi riducibili
- 4 Diagrammi composti sono somma di potenze di nodali ed elementari
- 5 Espressione **chiusa** per il calcolo dei nodali

I passi per ottenere le equazioni HNC

- 1 Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- 2 Eliminazione diagrammi non connessi
- 3 Eliminazione diagrammi riducibili
- 4 Diagrammi composti sono somma di potenze di nodali ed elementari
- 5 Espressione **chiusa** per il calcolo dei nodali

I diagrammi elementari sono inseriti singolarmente (uno per volta).

Determinanti di Slater

$$\Phi(x_1, \dots, x_A) = \frac{1}{\sqrt{A!}} \begin{vmatrix} \phi_1(x_1) & \phi_1(x_2) & \dots & \phi_1(x_A) \\ \phi_2(x_1) & \phi_2(x_2) & \dots & \phi_2(x_A) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_A(x_1) & \phi_A(x_2) & \dots & \phi_A(x_A) \end{vmatrix}$$

$$|\Phi(1, 2, \dots, A)|^2 = \begin{vmatrix} \rho_0(x_1, x_1) & \rho_0(x_1, x_2) & \dots & \rho_0(x_1, x_A) \\ \rho_0(x_2, x_1) & \rho_0(x_2, x_2) & \dots & \rho_0(x_2, x_A) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_0(x_A, x_1) & \rho_0(x_A, x_2) & \dots & \rho_0(x_A, x_A) \end{vmatrix}$$

$$\rho_0(x_i, x_j) = \sum_a \phi_a^*(x_i) \phi_a(x_j)$$

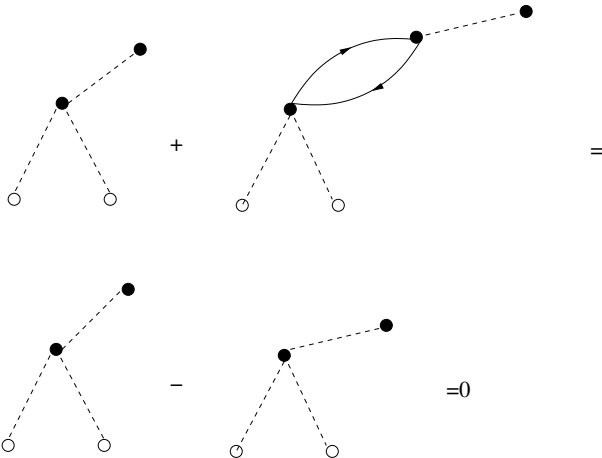
$$\int dx_j \rho_0(x_i, x_j) \rho_0(x_j, x_k) = \rho_0(x_i, x_k)$$

- 1 Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- 2 Eliminazione diagrammi non connessi
- 3 Eliminazione diagrammi riducibili

- ① Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- ② Eliminazione diagrammi non connessi
- ③ Eliminazione diagrammi riducibili

- ① Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- ② Eliminazione diagrammi non connessi
- ③ Eliminazione diagrammi riducibili

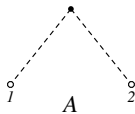
Sistema infinito di fermioni Invarianza traslazionale



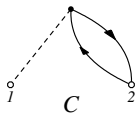
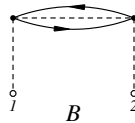
- 1 Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- 2 Eliminazione diagrammi non connessi
- 3 Eliminazione diagrammi riducibili
- 4 Diagrammi composti sono somma di nodali ed elementari
- 5 Espressione chiusa per il calcolo dei nodali

- 1 Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- 2 Eliminazione diagrammi non connessi
- 3 Eliminazione diagrammi riducibili
- 4 Diagrammi composti sono somma di nodali ed elementari
- 5 Espressione chiusa per il calcolo dei nodali

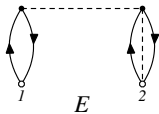
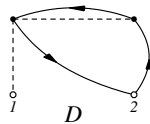
- 1 Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- 2 Eliminazione diagrammi non connessi
- 3 Eliminazione diagrammi riducibili
- 4 Diagrammi composti sono somma di nodali ed elementari
- 5 Espressione chiusa per il calcolo dei nodali



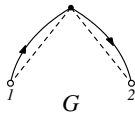
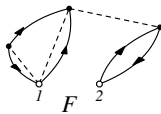
N_{dd}



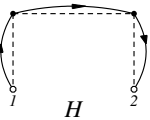
N_{de}



N_{ee}



N_{cc}



Interazione nucleone-nucleone realistica:

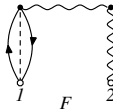
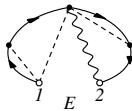
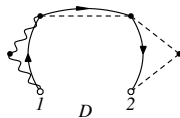
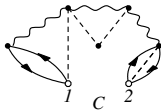
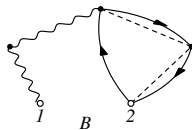
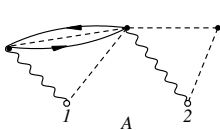
$$V(x_{ij}) = \sum_{p=1}^8 V_p(r_{ij}) O_{ij}^p$$

$$O_{ij}^{p=1,8} = 1, \tau_i \cdot \tau_j, \sigma_i \cdot \sigma_j, (\sigma_i \cdot \sigma_j)(\tau_i \cdot \tau_j), S_{ij}, S_{ij}(\tau_i \cdot \tau_j), \\ \mathbf{L}_{ij} \cdot \mathbf{s}_{ij}, \mathbf{L}_{ij} \cdot \mathbf{s}_{ij}(\tau_i \cdot \tau_j).$$

$$S_{ij} = 3(\sigma_i \cdot \hat{\mathbf{r}}_{ij})(\sigma_j \cdot \hat{\mathbf{r}}_{ij}) - \sigma_i \cdot \sigma_j$$

$$\mathcal{F}(1, \dots, A) = \mathcal{S} \left(\prod_{j>i=1}^A F_{ij} \right) = \mathcal{S} \left[\prod_{j>i=1}^A \sum_{p=1}^6 f_p(r_{ij}) O_{ij}^p \right]$$

Single Operator Chain



Approssimazioni nei calcoli FHNC/SOC

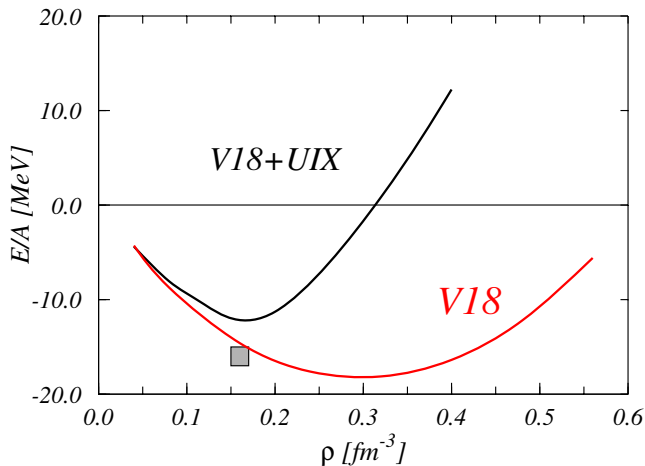
- Principio variazionale
- Diagrammi elementari esclusi
- Si considerano solo catene con un solo operatore (SOC)

Approssimazioni nei calcoli FHNC/SOC

- Principio variazionale
- Diagrammi elementari esclusi
- Si considerano solo catene con un solo operatore (SOC)

Approssimazioni nei calcoli FHNC/SOC

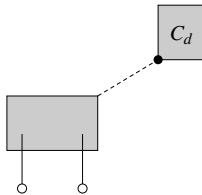
- Principio variazionale
- Diagrammi elementari esclusi
- Si considerano solo catene con un solo operatore (SOC)



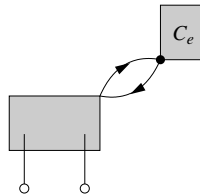
Akmal, Pandharipande, Ravenhall, PRC 58 (1998) 1804, Tab. VI

Sistemi nucleari finiti

- 1 Sviluppo in cluster della funzione di distribuzione a due corpi
- 2 Eliminazione diagrammi non connessi
- 3 Eliminazione diagrammi riducibili
- 4 Diagrammi composti sono somma di nodali ed elementari
- 5 Espressione chiusa per il calcolo dei nodali



A



B

$$C_d = \bullet + \text{---} \bullet + \text{---} \bullet + \text{---} \bullet + \text{---} \bullet + \dots$$

$$C_e = \bullet + \text{---} \bullet + \text{---} \bullet + \text{---} \bullet + \text{---} \bullet + \dots$$

Nuclei doppio magici (simmetria sferica e chiusura di shell)

- Protoni e neutroni con diverse ϕ
- Accoppiamento jj
- Potenziali Argonne V8' + Urbana IX e Urbana V14 troncato + Urbana VI
- Correlazioni fino a $p = 6$ (tensore-tau)
- Minimizzazione sulla correlazione con due parametri una healing distance per le correlazioni centrali e una per quelle tensoriali.
- Minimizzazione sulle ϕ per ^{16}O e ^{40}Ca
- Calcoli per i nuclei ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca e ^{208}Pb .

Nuclei doppio magici (simmetria sferica e chiusura di shell)

- Protoni e neutroni con diverse ϕ
- Accoppiamento jj
- Potenziali Argonne V8' + Urbana IX e Urbana V14 troncato + Urbana VI
- Correlazioni fino a $p = 6$ (tensore-tau)
- Minimizzazione sulla correlazione con due parametri una healing distance per le correlazioni centrali e una per quelle tensoriali.
- Minimizzazione sulle ϕ per ^{16}O e ^{40}Ca
- Calcoli per i nuclei ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca e ^{208}Pb .

Nuclei doppio magici (simmetria sferica e chiusura di shell)

- Protoni e neutroni con diverse ϕ
- Accoppiamento jj
- Potenziali Argonne V8' + Urbana IX e Urbana V14 troncato + Urbana VI
- Correlazioni fino a $p = 6$ (tensore-tau)
- Minimizzazione sulla correlazione con due parametri una healing distance per le correlazioni centrali e una per quelle tensoriali.
- Minimizzazione sulle ϕ per ^{16}O e ^{40}Ca
- Calcoli per i nuclei ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca e ^{208}Pb .

Nuclei doppio magici (simmetria sferica e chiusura di shell)

- Protoni e neutroni con diverse ϕ
- Accoppiamento jj
- Potenziali Argonne V8' + Urbana IX e Urbana V14 troncato + Urbana VI
- Correlazioni fino a $p = 6$ (tensore-tau)
- Minimizzazione sulla correlazione con due parametri una healing distance per le correlazioni centrali e una per quelle tensoriali.
- Minimizzazione sulle ϕ per ^{16}O e ^{40}Ca
- Calcoli per i nuclei ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca e ^{208}Pb .

Nuclei doppio magici (simmetria sferica e chiusura di shell)

- Protoni e neutroni con diverse ϕ
- Accoppiamento jj
- Potenziali Argonne V8' + Urbana IX e Urbana V14 troncato + Urbana VI
- Correlazioni fino a $p = 6$ (tensore-tau)
- Minimizzazione sulla correlazione con due parametri una healing distance per le correlazioni centrali e una per quelle tensoriali.
- Minimizzazione sulle ϕ per ^{16}O e ^{40}Ca
- Calcoli per i nuclei ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca e ^{208}Pb .

Nuclei doppio magici (simmetria sferica e chiusura di shell)

- Protoni e neutroni con diverse ϕ
- Accoppiamento jj
- Potenziali Argonne V8' + Urbana IX e Urbana V14 troncato + Urbana VI
- Correlazioni fino a $p = 6$ (tensore-tau)
- Minimizzazione sulla correlazione con due parametri una healing distance per le correlazioni centrali e una per quelle tensoriali.
- Minimizzazione sulle ϕ per ^{16}O e ^{40}Ca
- Calcoli per i nuclei ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca e ^{208}Pb .

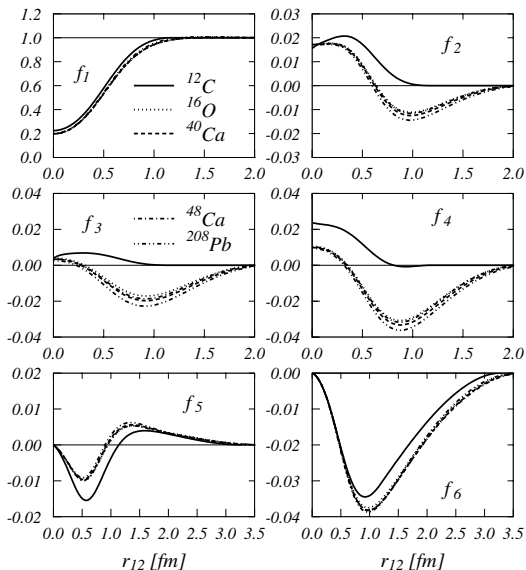
Nuclei doppio magici (simmetria sferica e chiusura di shell)

- Protoni e neutroni con diverse ϕ
- Accoppiamento jj
- Potenziali Argonne V8' + Urbana IX e Urbana V14 troncato + Urbana VI
- Correlazioni fino a $p = 6$ (tensore-tau)
- Minimizzazione sulla correlazione con due parametri una healing distance per le correlazioni centrali e una per quelle tensoriali.
- Minimizzazione sulle ϕ per ^{16}O e ^{40}Ca
- Calcoli per i nuclei ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca e ^{208}Pb .

Nuclei doppio magici (simmetria sferica e chiusura di shell)

- Protoni e neutroni con diverse ϕ
- Accoppiamento jj
- Potenziali Argonne V8' + Urbana IX e Urbana V14 troncato + Urbana VI
- Correlazioni fino a $p = 6$ (tensore-tau)
- Minimizzazione sulla correlazione con due parametri una healing distance per le correlazioni centrali e una per quelle tensoriali.
- Minimizzazione sulle ϕ per ^{16}O e ^{40}Ca
- Calcoli per i nuclei ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca , ^{48}Ca e ^{208}Pb .

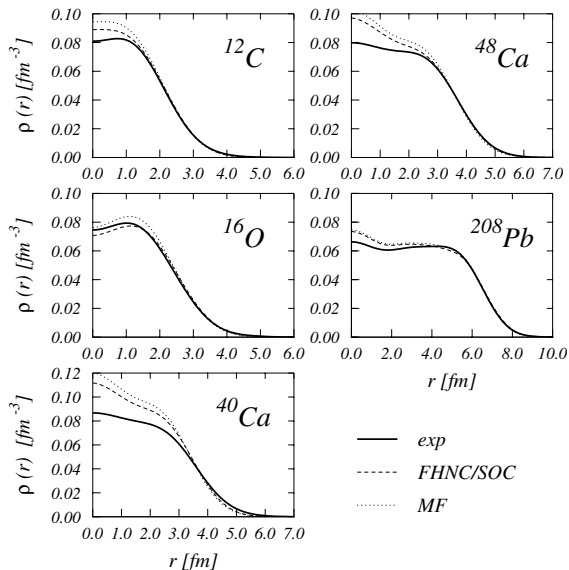
Correlazioni



Risultati

		^{12}C	^{16}O	^{40}Ca	^{48}Ca	^{208}Pb
$v'_8 + \text{UIX}$	T	27.13	32.33	41.06	39.64	39.56
	$V_{2\text{-body}}^6$	-29.13	-38.15	-48.97	-46.60	-48.43
	V_{LS}	-0.51	-0.70	-0.85	-0.79	-0.80
	V_{Coul}	0.67	0.86	1.96	1.57	3.97
	$T + V(2)$	-1.84	-5.66	-6.83	-6.24	-5.80
	$V_{3\text{-body}}$	0.66	0.86	1.76	1.61	1.91
	E	-1.17	-4.80	-5.05	-4.62	-3.78
$v_{14} + \text{UVII}$	T	24.63	29.25	37.70	36.47	36.48
	$V_{2\text{-body}}^6$	-27.08	-35.84	-47.16	-44.86	-46.87
	V_{LS}	-0.06	-0.10	-0.10	-0.09	-0.08
	V_{Coul}	0.68	0.88	2.02	1.59	4.03
	$T + V(2)$	-1.83	-5.81	-7.54	-6.89	-6.44
	$V_{3\text{-body}}$	0.54	0.69	1.28	1.15	1.41
	E	-1.29	-5.12	-6.26	-5.74	-5.03
	E_{exp}	-7.68	-7.97	-8.55	-8.66	-7.86

Densità di carica



Distribuzione dei momenti:

$$n(\vec{k}) = \int d\vec{r}_1 d\vec{r}'_1 \rho(\vec{r}_1, \vec{r}'_1) e^{i\vec{k} \cdot (\vec{r}_1 - \vec{r}'_1)}$$

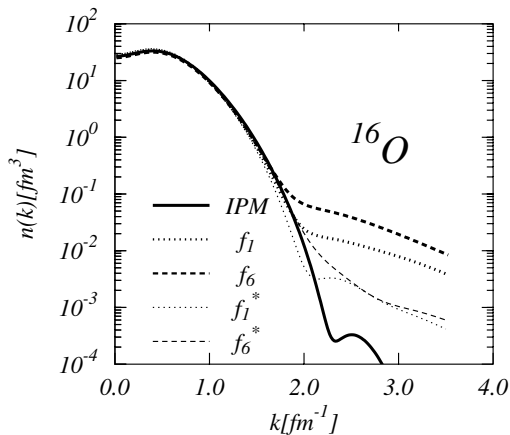
Matrice densità a un corpo:

$$\rho(\vec{r}_1, \vec{r}'_1) = \int d\vec{r}_2 d\vec{r}_3 \dots d\vec{r}_A \Psi^\dagger(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \dots, \vec{r}_A) \Psi(\vec{r}'_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \dots, \vec{r}_A)$$

Modello a particelle indipendenti:

$$\rho_0(\vec{r}_1, \vec{r}'_1) = \sum_i \phi_i^*(\vec{r}_1) \phi_i(\vec{r}'_1)$$

Distribuzione dei momenti



Matrice densità a due corpi:

$$\rho(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \int d\vec{r}_3 \dots d\vec{r}_A \Psi^\dagger(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \dots, \vec{r}_A) \Psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \dots, \vec{r}_A)$$

Modello a particelle indipendenti:

$$\rho_0(\vec{r}_1) \rho_0(\vec{r}_2) = \sum_{ij} \phi_i^*(\vec{r}_1) \phi_i(\vec{r}_1) \phi_j^*(\vec{r}_2) \phi_j(\vec{r}_2)$$

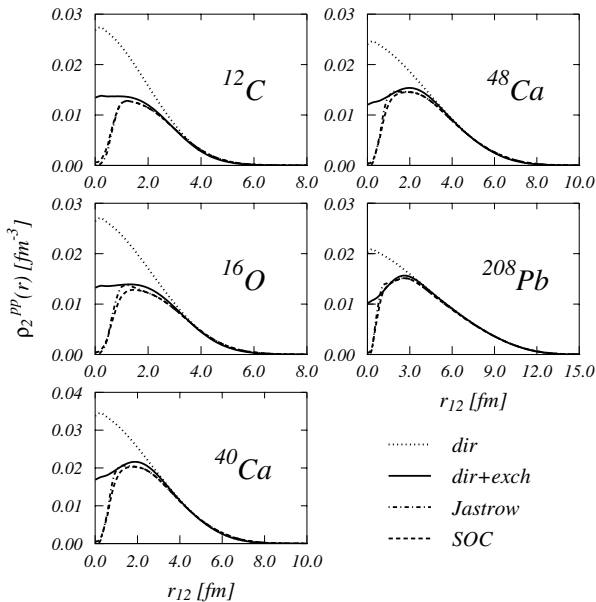
con Pauli

$$\rho_0(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \sum_{ij} [\phi_i^*(\vec{r}_1) \phi_j^*(\vec{r}_2) \phi_i(\vec{r}_1) \phi_j(\vec{r}_2) - \phi_i^*(\vec{r}_1) \phi_j^*(\vec{r}_2) \phi_i(\vec{r}_2) \phi_j(\vec{r}_1)]$$

$$\rho(r_{12}) = \int d\vec{R}_{12} \rho(\vec{r}_1, \vec{r}_2) ; \quad r_{12} = |\vec{r}_1 - \vec{r}_2| ; \quad \vec{R}_{12} = (\vec{r}_1 + \vec{r}_2)/2$$

Risultati

Densità a due corpi



Funzione d'onda di buco

$$\psi_h(x) = \frac{\langle \Psi_h(A-1) | \delta(x - x_A) | \Psi(A) \rangle}{\langle \Psi_h(A-1) | \Psi_h(A-1) \rangle^{\frac{1}{2}} \langle \Psi(A) | \Psi(A) \rangle^{\frac{1}{2}}}$$

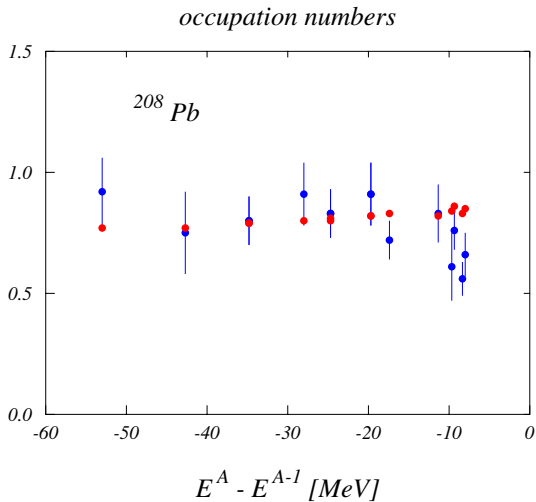
Fattori spettroscopici

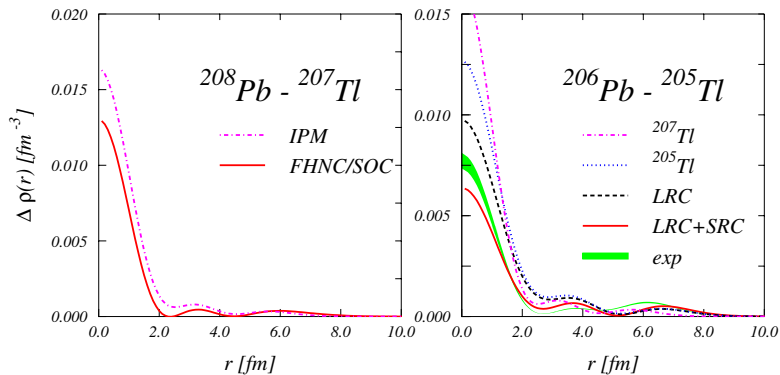
$$S_h = \int dr r^2 |\psi_h(r)|^2$$

Particelle indipendenti

$$\psi_h(x) = \phi_h(x) \qquad S_h = 1$$

Fattori spettroscopici





- I calcoli CBF-FHNC per nuclei finiti hanno raggiunto lo stesso livello di accuratezza dei calcoli per materia nucleare.
- Il ruolo delle correlazioni a corto raggio non è trascurabile.

- Ruolo dell'interazione a 3 corpi
- Contributo dei diagrammi elementari.
- Contributo dei termini dell'interazione e della correlazione non considerati.