

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

توابع همبستگی تانسوری و اسپین-مدار LOCV در کانال جفت-شده ماده نوترونی

آذر تفریحی^۱، مجید مدرس^۲

^۱ دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده فیزیک، اصفهان

^۲ دانشگاه تهران، دانشکده فیزیک، تهران

چکیده

در این مقاله، همبستگی‌های تانسوری و اسپین-مدار ماده نوترونی، در کانال جفت-شده 3P_2 - 3F_2 ، با استفاده از رهیافت وردشی پایینترین مرتبه مقید (LOCV) محاسبه می‌شوند. نشان داده می‌شود که برد همبستگی اسپین-مدار، از همبستگی تانسوری کوتاهتر است. به علاوه، مشخص می‌شود که انرژی ماده نوترونی با در نظر گرفتن همبستگی تانسوری در کانال 3P_2 - 3F_2 ، از محاسبات متناظر به ازای همبستگی اسپین-مدار بزرگتر است.

مقدمه

در رهیافت وردشی پایینترین مرتبه مقید (LOCV)، انرژی یک سیستم بس-ذره‌ای، همانند سیستم فرضی ماده نوترونی، در پایینترین مرتبه از بسط خوشه‌ای ایواموتو-یامادا [۱]، محاسبه می‌شود. توابع همبستگی LOCV، از طریق کمینه‌سازی انرژی خوشه دو-جسمی، در حضور قید بهنجارش تابع توزیع شعاعی [۲-۴]، محاسبه می‌شوند. تا کنون، روش LOCV، برای حل سیستم‌های بس-ذره‌ای متفاوت، به ازای اندرکنش‌های دو-ذره‌ای گوناگون، همانند پتانسیل دو-جسمی AV18 [۵]، استفاده شده و نتایج آن همخوانی قابل قبولی با رهیافت‌های پیچیده‌تر، همچون روش زنجیره ابرشبکه‌ای فرمی (FHNC) و مونت کارلو (MC)، نشان داده است [۲-۴]. زیرا، همبستگی‌های LOCV، توابعی ویژه‌اند که در قید بهنجارش صدق می‌کنند. حال، با توجه به اهمیت نقش توابع همبستگی، در این مقاله، با در نظر گرفتن سیستم بس-ذره‌ای ماده نوترونی، همبستگی میان نوترون-نوترون را، در چارچوب LOCV، مورد مطالعه قرار می‌دهیم. بنابراین، در بخش آتی، فرمولبندی همبستگی‌های تانسوری و اسپین-مدار در کانال جفت-شده 3P_2 - 3F_2 را، در تقریب LOCV، ارائه می‌دهیم. سپس، در بخش نتایج و بحث، توابع همبستگی LOCV را، در کانال جفت-شده 3P_2 - 3F_2 ، نمایش داده و سهم توابع مذکور در انرژی ماده نوترونی را، بررسی می‌نماییم.

توابع همبستگی LOCV

همایلتونی ماده نوترونی به صورت زیر تعریف می‌شود [۲-۴]:

$$H = \sum_i \frac{p_i^2}{2m} + \sum_{i \neq j} v(ij), \quad (1)$$

که p_i و $v(ij)$ به ترتیب، جرم نوترون، تکانه خطی نوترون i ام و پتانسیل AV18 [۵]، می‌باشند. مقدار چشمداشتی همایلتونی رابطه‌ی (۱)، توسط تابع موج وردشی $\psi (= F\phi)$ ، محاسبه می‌گردد. توجه شود که ϕ ، تابع موج سیستم در غیاب برهمکنش و $F = S \prod_{i < j} f(ij)$ عملگر مقارن‌ساز و $f(ij)$ همبستگی میان نوترون‌های i ام و j ام می‌باشد. در رهیافت LOCV، انرژی ماده نوترونی، با در نظر گرفتن بسط خوشه‌ای ایواموتو-یامادا [۱]، در مرتبه‌ی خوشه‌ی دو-جسمی قطع می‌گردد، یعنی [۱-۴]،

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

$$E[f] = \frac{1}{N} \frac{\langle \psi | H | \psi \rangle}{\langle \psi | \psi \rangle} = E_1 + E_2, \quad (2)$$

که $E_1 (= \frac{\hbar^2 k_F^2}{10m})$ ، انرژی جنبشی گاز فرمی و $k_F (= \sqrt[3]{3\pi^2 \rho})$ ، تکانه فرمی می‌باشند. به علاوه، انرژی خوشه‌ی دو-جسمی E_2 ، به صورت زیر تعریف می‌شود [۲-۴]:

$$E_2 = \frac{1}{2A} \sum_{i < j} \langle ij | \frac{\hbar^2}{2m} [f(12), [\nabla_{12}^2, f(12)]] + f^*(12)v(12)f(12) | ij \rangle_a, \quad (3)$$

یعنی حالت نوترون-نوترون $|ij\rangle$ ، بهنجاریده و پادمقارن است. حال، تابع همبستگی نوترون-نوترون $f(12)$ ، را به صورت زیر در نظر می‌گیریم [۲-۴]:

$$f(12) = \sum_{JST_z} |JST_z\rangle \langle JST_z | f_{JST_z}(r_{12}) \quad (4)$$

که T_z و T ، به ترتیب، تکانه مداری، اسپین، آیزواسپین و تصویر آیزواسپین در راستای محور Z جفت نوترون‌ها می‌باشند. تابع همبستگی، در کانال‌های جفت نشده، یعنی به ازای $S=0$ ($S=1, L=J$) شعاعی است [۲-۴]؛ یعنی، $f_{JST_z}^{DC}(r_{12}) = f_{JST_z}^C(r_{12})$. اما در کانال جفت شده 3P_2 - 3F_2 ، تابع همبستگی، وابسته به عملگر تانسوری، یعنی،

$$f_{211-1}^{CP}(r_{12}) = f_C^T(r_{12}) + f_T(r_{12})S_{12}, \quad (5)$$

و یا وابسته به عملگر اسپین-مدار، یعنی،

$$f_{211-1}^{CP}(r_{12}) = f_c^b(r_{12}) + f_b(r_{12})L.S, \quad (6)$$

تعریف می‌شود [۳-۴]. توجه شود که بخش مرکزی تابع همبستگی در کانال 3P_2 - 3F_2 ، یعنی $f_C^{T(b)}(r_{12})$ ، همبستگی غیرمرکزی-تانسوری (غیرمرکزی-اسپین-مدار) نامیده می‌شوند. با در نظر گرفتن رابطه‌های (2) الی (4)، انرژی ماده نوترونی در چارچوب LOCV، برابر می‌شود با [۳-۴]:

$$E_2 = \frac{\rho}{2} \int d^3r_{12} \{ C^\alpha v_{eff}^\alpha(r_{12}) I_{L,T_z}(k_F r_{12}) \}, \quad (7)$$

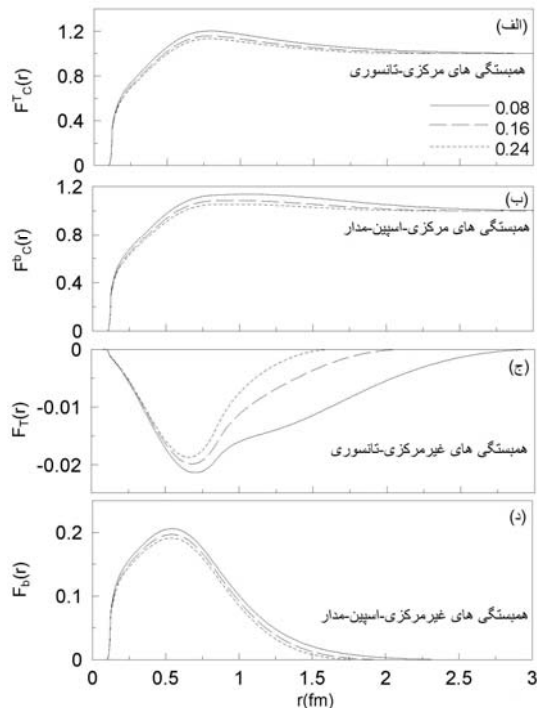
که $\alpha = JST_z$. توجه شود که C^α و $I_{L,T_z}(k_F r_{12})$ به ترتیب، در مراجع [۳-۴] و [۲]، ارائه شده‌اند. با کمیته‌سازی انرژی، در حضور قید بهنجارش [۳-۴] $\xi (= \rho \int d^3r_{12} \{ C^\alpha (f_{p,T_z}^2(r_{12}) - f_{JST_z}^2(r_{12})) I_{L,T_z}(k_F r_{12}) \} - 1)$ ، به یکسری معادلات اوایلر-لاگرانژ، برای توابع همبستگی، می‌رسیم [۴-۳]. معادلات اوایلر-لاگرانژ، تنها تا فاصله ترمیمی d ، حل می‌شوند و رفتار بلندبرد توابع همبستگی LOCV توسط تابع پائولی $f_{p,T_z}(r_{12})$ [۲-۴]، توصیف می‌شود.

نتایج و بحث

در شکل ۱، همبستگی‌های مرکزی و وابسته به عملگر ماده نوترونی در کانال 3P_2 - 3F_2 ، به ازای $\rho = 0.08(0.16(0.24)) fm^{-3}$ ، برای پتانسیل AV18 [۵]، توسط منحنی پر(خط چین نقطه‌چین)، نمایش داده شده‌اند [۴]. با در نظر گرفتن عملگر تانسوری در کانال 3P_2 - 3F_2 (رابطه‌ی (5))، همبستگی‌های مرکزی-تانسوری و غیرمرکزی-تانسوری، به ترتیب، در قسمت‌های (الف) و (ج) شکل ۱، رسم شده‌اند. همچنین، با اعمال عملگر اسپین-مدار در کانال مذکور (رابطه‌ی (6))، همبستگی‌های مرکزی-اسپین-مدار و غیرمرکزی-اسپین-مدار، به ترتیب، در قسمت‌های (ب) و (د) شکل ۱، گزارش شده‌اند. همانطور که در شکل ۱، نمایان است، همبستگی‌های مرکزی بلندبرد و همبستگی‌های وابسته به عملگر کوتاه‌بردند. طبق انتظار، با افزایش چگالی، برد

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

همبستگی کاهش می‌یابد. همچنین، از مقایسه‌ی قسمت‌های (ج) و (د) شکل ۱، نتیجه می‌گیریم که توابع همبستگی اسپین-مدار از توابع همبستگی تانسوری کوتاه‌بردترند.



شکل ۱: (الف) همبستگی مرکزی-تانسوری (مرکزی-اسپین-مدار) ماده نوترونی در کانال ${}^3P_2-{}^3F_2$ ، به ازای $\rho = 0.08(0.16(0.24)) \text{ fm}^{-3}$ برای پتانسیل AV18 [۵]، با منحنی پر (خط چین (نقطه‌چین)) نشان داده شده است [۴]. (ج) (د) مشابه قسمت (الف) اما همبستگی‌های غیرمرکزی-تانسوری (غیرمرکزی-اسپین-مدار) گزارش شده‌اند [۴].

در جدول ۱، انرژی ماده نوترونی در کانال جفت-شده ${}^3P_2-{}^3F_2$ و انرژی کل، با در نظر گرفتن تابع همبستگی تانسوری (اسپین-مدار)، به ازای $\rho = 0.08(0.16(0.24)) \text{ fm}^{-3}$ برای پتانسیل AV18 [۵]، ارائه شده‌اند [۴]. همانطور که در جدول ۱ مشخص است؛ با در نظر گرفتن عملگر اسپین-مدار در کانال جفت-شده ${}^3P_2-{}^3F_2$ ، انرژی پایینتر از حالتی است که عملگر تانسوری در کانال مذکور اعمال شود. به علاوه، با افزایش چگالی، نقش همبستگی اسپین-مدار در کانال جفت-شده ${}^3P_2-{}^3F_2$ ، پررنگتر می‌گردد.

جدول ۱: انرژی ماده نوترونی LOCv در کانال ${}^3P_2-{}^3F_2$ ، یعنی، E_{211-1} و E_{231-1} ، و انرژی کل E ، برای پتانسیل AV18 [۵]، در چگالی $\rho = 0.08(0.16(0.24)) \text{ fm}^{-3}$. در کانال ${}^3P_2-{}^3F_2$ ، تابع همبستگی وابسته به عملگر تانسوری استفاده شده است. نتایج داخل پرانتز، با در نظر گرفتن تابع همبستگی وابسته به عملگر اسپین-مدار محاسبه شده‌اند. توجه شود که انرژی‌ها بر حسب MeV، گزارش شده‌اند.

$\rho(\text{fm}^{-3})$	E_{211-1}	E_{231-1}	E
۰٫۰۸	-۴٫۹۳۴ (-۵٫۷۲۶)	-۰٫۳۲۲(-۰٫۳۸۸)	۵٫۵۳۹ (۴٫۶۳۲)
۰٫۱۶	-۱۱٫۵۹۴ (-۱۳٫۹۶۰)	-۰٫۹۱۹ (-۱٫۲۲۹)	۸٫۱۶۱ (۵٫۳۹۹)
۰٫۲۴	-۱۸٫۵۴۲ (-۲۲٫۷۲۸)	-۱٫۵۵۸ (-۲٫۳۰۰)	۱۱٫۶۶۳ (۶٫۶۰۵)

سپاسگزاری: آذر تفریحی، از دانشگاه صنعتی اصفهان برای حمایتشان سپاسگزار است. همچنین، مجید مدرس از حمایت دانشگاه تهران، قدردانی می‌نماید.

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

مرجع‌ها

1. F. Iwamoto and M. Yamada: *Prog. Theor. Phys.* **17** (1957) 543.
2. M. Modarres, M. Pourmirjafari, H.R. Moshfegh, *Nucl. Phys. A* **819** (2009) 27.
3. M. Modarres, A. Tafrihi, *Nucl. Phys. A* **941** (2015) 212.
4. A. Tafrihi, M. Modarres, Submitted for publication (2016).
5. R.B. Wiringa, V.G.J. Stoks, R. Schiavilla, *Phys. Rev. C* **51** (1995) 38.