محـاسـبـهٔ قـابـلیت پذیـرش
مغناطیسی مادّهٔ نوترونی

دکتر مجید مدرّس

استادیار دانشکدهٔ علوم و کامپیوتر دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

«قابلیت پذیرش مغناطیسی ماده نوترونی» که در آن نوترون‌ها بر مبنای پتانسیل Reid در حال برهم کنش هستند توسط روش بسط خوشه‌ای[۱] و استفاده از اصل تغییرات همراه با قید[۲] محاسبه گردیده است[۳]. قابلیت پذیرش مغناطیسی که توسط LOCV محاسبه می شود به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از نتیجه Haensel است که با به کار بردن نظریه Bruckner صورت گرفته است. این اختلاف زمانی که اثر درجه آزادی N*(1234) را نیز در نظر بگیریم بیشتر می شود. در هر حال هیچ اثری از گذار فاز[۴] فرومغناطیس مشاهده نگردید. شماره‌های لاتینی که داخل [ ] آمده مربوط به منابع و مآخذ مقاله و شماره‌های فارسی که در بالای کلمات قرار گرفته، ارجاع به پاورقی های مقاله است.

این طور تصور شده است که در چگالی های خیلی بالا ماده نوترونی در اثر یک گذار فاز[۴] فرومغناطیس می شود و این گذار فاز مسأله بسیار مهمی برای وجود ستاره‌های نوترونی درفیزیک است.[2]

Haensel در سال ۱۹۷۵ با استفاده از نظریه Bruckner [۵] و به کار بردن پتانسیل (Reid)[3] قابلیت پذیرش مغناطیسی ماده نوترونی را حساب نمود و گذار فازی مشاهده ننمود. اما از آن جائی که LOBT برای محاسبه خواص مایعات هسته‌ای قابل اعتماد نیست[4] Clark و دیده شده است که روش بسط خوشه‌ای[۱] با قید نرمال که توسط گروه منچستر[5,6,7] توسعه داده شده بخصوص با درنظر گرفتن اثر درجه آزادی N*(1234)، نتایج درست و قابل اعتمادی می دهد.[6,8] لذا به نظر می رسد لازم باشد از این روش (LOVT) استفاده کرده و قابلیت مغناطیسی ماده نوترونی را محاسبه نمائیم.

* برای شروع محاسبه سیستمی شامل N نوترون را در حد ترمودینامیکی در نظر می گیریم به طوری که نوترون ها با اسپین بالا و اسپین پائین دارای اندازه حرکت فرمی متفاوتی باشند. بنابراین برای یک دانسیتهٔ ثابت، میزان نسبت نوترون های با اسپین پائین و بالا را تغییر می دهیم تا انرژی کل سیستم می نیمم شود. در این محاسبه، که شبیه به محاسبات قبلی ما برای به‌دست آوردن ضریب تقارن ایزواسپین است توابع همبستگی[۷] به جای وابسته‌بودن به جهت ایزواسپین ذرات به جهت اسپین نوترون ها وابسته است یعنی M_s لذا در فواصل دور($r \longrightarrow \infty$)توابع همبستگی به توابع موج غیرهمبستگی[۸] میل می کنند:

$$h_{M_s}(r) = \left[1 - 9\left[\frac{J(K_{M_s} r)}{K_{M_s} r} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \qquad \begin{matrix} M_s = \pm 1 \\ M_s = 0 \end{matrix}$$

که K_{M_S} اندازه حرکت فرمی مربوط به دانسیته نوترون‌ها با اسپین بالا $M_s = 1$ و دانسیته نوترون‌های بااسپین‌پائین ($M_s = -1$) می‌باشد. توجه کنید شرایط مرزی برای جفت $M_s = 0$ مطابق قید Bose می‌باشد یعنی عدم وجود طرد پاولی بین نوترون‌ها با اسپین پائین و اسپین بالا.[5]

اندازه پلاریزاسیون اسپین را با

$$\alpha = \frac{N\uparrow - N\downarrow}{N\uparrow + N\downarrow}$$

نشان می دهیم لذا انرژی ماده نوترونی را برای هر نوترون می توان به صورت:

$$E_0(\alpha) = E_0 + 1/2\, \varepsilon_p \alpha^2$$

نوشت که در میدان مغناطیسی این انرژی به قرار زیر است:

$$E_{H(\alpha)} = E_0(0) + \frac{1}{2}\varepsilon_p \alpha^2 - \mu_n H\alpha$$

که در آن μ_n ممان مغناطیسی نوترون است. از رابطه فوق پلاریزاسیون حالت زمینه α_0 توسط معادله زیر به دست می آید:

$$\frac{\delta E_H}{\delta \alpha}\Big|_{\alpha_0} = 0 \quad \text{و یا} \quad \alpha_0 = \frac{\mu_n H}{p}$$

از طرفی قابلیت پذیرش مغناطیسی بر حسب مغناطیسی پذیری M را می توان به قرار زیر نوشت:

$$X = \frac{M}{H} = (\mu_n \alpha_0 n) / (\varepsilon_p \alpha_0 / \mu_n) = \mu_n^2 \frac{n}{\varepsilon_p}$$

که n چگالی ماده نوترونی است:

$$n = \frac{K_F^3}{3\pi^2}$$

اگر مقدار فوق را با قابلیت مغناطیسی گاز فرمی آزاد، X_F، مقایسه کنیم:

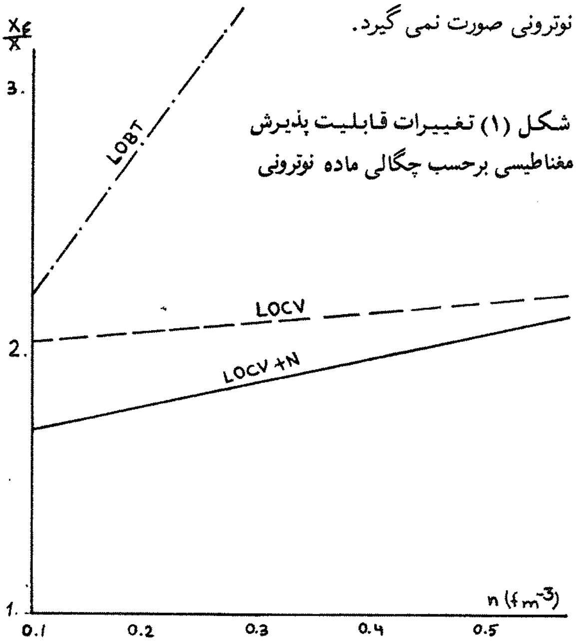
$$X_F = \frac{\mu_n^2 n}{\frac{2}{3}\varepsilon_F} \quad \text{که در آن:} \quad \varepsilon_F = \frac{h^2 K_F^2}{2m_n}$$

به طوری که مشاهده می شود، نسبت قابلیت های پذیرش مغناطیسی متناسب با نسبت انرژی پلاریزاسیون به انرژی فرمی ε_F است:

$$\frac{X_F}{X} = \frac{3}{2} - \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_F}$$

در شکل (۱) مقدار $\frac{X_F}{X}$ به صورت تابعی از دانسیته ماده نوترونی با و بدون در نظر گرفتن اثر N*(1234) رسم و با نتایج Haensel[2] برای پتانسیل Reid مقایسه شده است.

به طوری که ملاحظه می‌کنید نتایج حاصل از LOCV خیلی بزرگتر از LOBT است به خصوص وقتی که اثر N*(1234) نیز در نظر گرفته می شود. این نتیجه آخری را انتظار هم داریم زیرا قابلیت پذیرش مغناطیسی وقتی زیاد می شود که اندازه برهم کنش حالت یک گانه[9] نسبت به حالت سه گانه[10] کمتر جاذبه باشد و این دقیقاً عملی است که N*(1234) انجام می دهد. به غیر از این افزایش در قابلیت پذیرش مغناطیسی در شکل (۱) هیچ گونه اثری از بی نهایت شدن ($X_F/X \longrightarrow 0$) قابلیت مغناطیسی در این فاصله از چگالی ماده نوترونی دیده نمی شود. لذا گذار فاز فرومغناطیس در ماده نوترونی صورت نمی گیرد.



شکل (۱) تغییرات قابلیت پذیرش مغناطیسی برحسب چگالی ماده نوترونی

زیرنویس:

1 - Cluster expansion.
2 - Constrained variation
۳ ــ به طور خلاصه به آن LOCV می گوئیم.
4 - Phase transition.
6 - I rvine, Modarres, Owen.
7 - Correlation Functions.
۸ ــ منظور توزیع حاصل از اصل طرد پا ولی یک جفت Fermion است.
9 - Singlet.
10 - Triplet.

منابع:

1 - M. Modarres and J.M. Irvine
J. Phys. G. Nucl. Phys.
2 - P. Haensel, Phys. Rev. (1975) Cll, 1822.
3 - R.V. Reid, Ann. Phys. Ny (1968) 150 411.
4 - J.W. Clark, Progress in Particle
and Nuclear Physics 2 (1979).
5 - J.C. Owen, R.F. Bishop and J.M. Irvine,
Nucl. Phys A 274 108 (1976).
6 - M. Modarres and J.M. Irvine
J. Phys. G:Nucl. Phys. 5
7 - M. Modarres and J.M. Irvine,
J. Phys. G:Nucl. Phys.
8 - M.Modarres, R.F.Bishop and Irvine
3. Phys. G. Nucl. Phys. (1978)