به نام خدا

کنفرانس بین المللی فیزیک انرژی های بالا

تحلیل تابع ساختارقطبیده نوترون g_1^n با استفاده از تکنیک تبدیل لاپلاس

تیموری آزادبخت، فریبا

پژوهشکده ذرات و شتابگرها، پژوهشگاه دانشهای بنیادی، تهران

چکیده

در این مقاله تابع ساختار نوترون قطبیده g_1^n در هسته ^3He مورد بررسی قرار گرفته و یک روش تحلیلی بر اساس تبدیل لاپلاس برای g_1^n ارائه می گردد. تصحیحات هسته‌ای از قبیل حرکت فرمی نوکلئون‌ها و ملاحظات انرژی بستگی در تابع ساختار قطبیده ^3He لحاظ شده و نتایج عددی حاصل با داده های تجربی SMC و گروه همکاران HERMES مقایسه شده است. مزیت روش تحلیلی بکار رفته در این پژوهش آن است که تابع ساختار اسپینی نوترون را می توان به طور مستقیم از تابع ساختار هسته قطبیده ^3He استخراج کرد.

مقدمه

پراکندگی ناکشسان عمیق (DIS) الکترون‌ها از هدف‌های قطبیده ابزارمهمی برای مطالعه تابع ساختار اسپینی نوکلئون‌ها و هسته ها می‌باشد. در طول سالهای اخیر، تحقیقات تجربی بسیاری به همراه تحلیل‌های نظری برای تعیین توابع توزیع پارتونی غیر قطبیده (PDFs) و توابع توزیع پارتون‌های قطبیده (PPDFs) و همچنین توابع ساختار هسته ای انجام شده است. به موازات پژوهشهای تجربی، از حیث جنبه های پدیدارشناختی تحلیل های مختلفی در تقریب مرتبه اول (LO) و مراتب بالاتر (NLO) توسط گروه های تحقیقاتی برای تعیین دقیق توابع توزیع پارتون‌ها انجام شده است. در اغلب این پژوهش ها معمولا پارامتری مناسب برای چگالی پارتون در یک مقدار معین x و Q^2 (پارامتر بیورکن و مربع اندازه حرکت منتقل شده) مفروض شده است و سپس با استفاده از معادلات تحول DGLAP در سایر مقادیر x و Q^2 تحول داده شده است. در آزمایشگاه جفرسون (JLAB) تلاش های گسترده ای برای اندازه گیری توابع ساختار اسپینی ^3He و استخراج توابع ساختار قطبیده نوکلئون ها انجام گرفته است. خواص نوکلئون های واقع شده در هسته به خاطر وجود اثرات هسته‌ای با نوکلئون‌های آزاد کاملا متفاوت است، و بنابراین استخراج توابع توزیع پارتونی مقید اساساً با موارد مشاهده شده در فضای آزاد متفاوت هستند. سهم عمده به دلیل واقطبش اسپینی، انرژی بستگی هسته ای، حرکت فرمی نوکلئون ها در هسته، وجود درجات آزادی غیرنوکلئونی و همچنین اثرات سایه‌ای هسته‌ای و ضدسایه‌ای می‌باشد. برخی از تصحیحات هسته‌ای (مثلا اثرات سایه‌ای و ضد سایه‌ای) فقط در مقادیر بسیار کوچک x اهمیت دارند. در مقابل، اثراتی مثل واقطبش اسپینی، حرکت فرمی نوکلئون‌ها و همچنین انرژی بستگی هسته‌ای در تمامی بازه مقادیر x دارای اهمیت هستند. در این مقاله از تبدیل لاپلاس برای بدست آوردن تابع ساختار قطبیده ^3He بر حسب توابع ساختار اسپینی نوکلئون‌ها به دست می آوریم.

شرح روش

در ساده ترین تصویر، تابع ساختار ^3Heرا می توان به صورت درهمیدگی از توابع ساختار قطبیده نوکلئون‌های تشکیل دهنده با تابع توزیع اندازه حرکت مخروط نوری آنها نوشت.

$$g_1^{^3He}(x,Q^2) = \int_x^3 \frac{dy}{y} \Delta f_{p/^3He}(x/y) g_1^p(x/y, Q^2) + \Delta f_{n/^3He}(x/y) g_1^n(x/y, Q^2) \qquad (۱)$$

با استفاده از تغییر متغیر $x = e^{-v}$ و تبدیل لاپلاس $f(s) = \int_0^\infty dx\, F(x) e^{-sx}$ معادله بالا را به صورت زیر بازنویسی می کنیم.

$$g^{^3He}(s,Q^2) = \Delta ff_p(s) gg_p(s,Q^2) + \Delta ff_n(s) gg_n(s,Q^2) \qquad (۲)$$

با مرتب کردن معادله‌ی بالا،می‌توانیم معادله جبری gg_n را به دست آوریم:

$$gg_n(s,Q^2) = \frac{g^{^3He}(s,Q^2) - \Delta ff_p(s)\, gg_p(s,Q^2)}{\Delta ff_n(s)} \qquad (۳)$$

عبارت بالا تابع ساختار اسپینی نوترون را در فضای لاپلاس می باشد. از آنجایی که چنین محاسباتی در فضای s بسیار دشوار و طولانی است، بنابراین بااستفاده از تبدیل لاپلاس معکوس به فضای **معمولی** باز می گردیم. با در دست داشتن تابع ساختار پروتون و تابع توریع مخروط نوری نوکلئون ها، می توانیم تابع ساختار نوترون را به صورت زیر بدست می آوریم.

$$\hat{g}_1^n(v;Q^2) = \int dw [\, \hat{h}(w) g_1^{^3He}(w,Q^2) + \hat{j}(w) g_1^p(w,Q^2)] \qquad (۴)$$

با پارامتربندی تابع ساختار اسپینی هسته ^3He بصورت زیر [1]

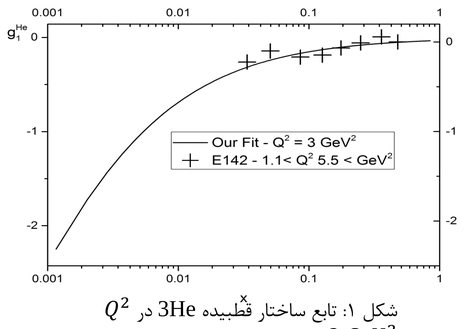
$$g_1^{^3He}(x,Q^2) = A + Bx + Cx^2(1 - \frac{1}{Q^2}) \qquad (۵)$$

تابع ساختار قطبیده پروتون بر حسب مقادیر x و Q^2 پارامتربندی شده است [2] . همچنین توابع توزیع مخروط نوری قطبیده نوکلئون‌ها به صورت پارامتربندی شده با در نظر گرفتن تصحیحات هسته‌ای از قبیل حرکت فرمی، انرژی بستگی و واقطبش اسپینی بیان شده است [3].

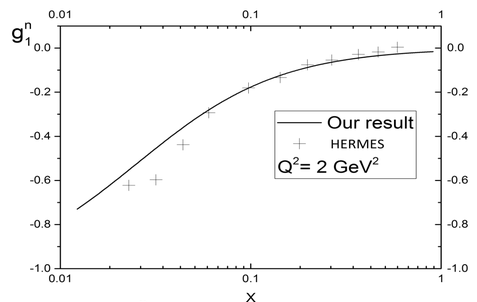
بحث و بررسی نتایج

در بخش قبل، تابع ساختار اسپینی نوترون را با استفاده از روش تبدیل لاپلاس محاسبه کردیم ، باتوجه به معادله (۱) تابع ساختار قطبیده ^3He در چارچوب درهمیدگی بر حسب توابع ساختار قطبیده‌ی نوکلئون‌ها و توابع توزیع اندازه حرکت مخروط نوری بیان شد. سپس با استفاده از تکنیک لاپلاس، انتگرال درهمیدگی به یک معادله جبری کاهش یافت که می‌توانیم آنرا برای تابع ساختار اسپینی نوترون حل کنیم. بنابراین با در دست داشتن تابع ساختار پروتون و هلیم و همچنین توابع توزیع اندازه حرکت مخروط نوری نوکلئون‌ها می-توانیم تابع ساختار نوترون را به دست آوریم.

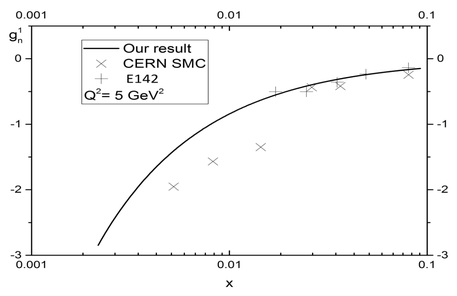
حال به ارزیابی عددی برخی از محاسبات و مقایسه آنها با دادهای تجربی می‌پردازیم. نتایج عددی برای تابع ساختار اسپینی نوترون در شکل ۲و۳ نمایش داده شده است. در ابتدا ملاحظه می‌کنیم که تابع ساختار اسپینی نوترون به دست آمده از انتگرال درهمیدگی با تابع ساختار نوترون آزاد برابر است. دلیل این موضوع آن است که حرکت فرمی نوکلئون‌ها در داخل هسته هلیم بسیار کوچک است و انرژی بستگی هسته در تقریب مرتبه اول قابل چشم پوشی می‌باشد. در شکل ۲ و ۳ نتایج عددی تابع ساختارقطبیده نوترون رانشان می‌دهد که همخوانی خوبی با دادهای آزمایشگاهی گروه همکاران HERMESS [4] و SMC [5] وجود دارد. همچنین همانطوریکه از از شکل ۲ و ۳ مشاهده می‌کنیم که تابع ساختار اسپینی نوترون دارای مقادیر منفی است. یادآوری می‌کنیم که نوترون از کوارک‌های ظرفیت (udd)، کورک‌های دریا و گلئون‌ها تشکیل شده است و سهم کوارک‌های d,s منفی است و از طرف دیگر با فرض تقارن $SU(3)$ سهم همه کوارک‌های دریا با هم برابر است. تابع ساختار اسپینی کل از جمع سهم کوارک‌های ظرفیت و دریا بدست می‌آید که مقدار منفی به‌دست می‌آید.



شکل ۱: تابع ساختار قطبیده 3He در $Q^2 = 3\ GeV^2$ و مقایسه با دادهای تجربی



شکل ۲: تابع ساختار قطبیده نوترون در $Q^2 = ۲\ GeV^2$ و مقایسه با دادهای تجربی



شکل ۳: تابع ساختار قطبیده نوترون در $Q^2 = ۵\ GeV^2$ و مقایسه با دادهای آزمایشگاهی تجربی

نتیجه گیری

از آنجایی که نوترون آزاد در دسترس نیست، از هسته‌های قطبیده ^3Heبه عنوان منبع نوترون قطبیده استفاده می شود. دراین مقاله از تکنیک لاپلاس برای استخراج تابع ساختار قطبیده نوترون در چارچوب روش درهمیدگی با درنظرگرفتن برخی از اثرات هسته‌ای مهم استفاده کردیم که شامل حرکت فرمی و انرژی بستگی می‌باشند. در روش درهمیدگی تابع ساختار هسته‌ای به صورت انتگرال درهمیدگی از توابع ساختار و توابع توزیع مخروط نوری نوکلئون‌ها بیان می‌شوند. که در آن تابع ساختار اسپینی نوترون با استفاده از تکنیک لاپلاس از تابع ساختار قطبیده هسته ^3He به دست می‌آید. نتایج عددی تابع ساختار قطبیده نوترون در شکل ۲و۳ نمایش داده شد که توافق خوبی با دادهای آزمایشگاهی دارد.

[1]. K. Abe et al (E154 Collaboration), '' Next-to-leading order QCD analysis of polarized deep inelastic scattering data '' , *Phys. Lett. B* **405,** (1997) 180.

[2]. M. M. Yazdanpanah et al,''3He and 3H Polarized Structure Functions, Using the Constituent Quark Model '' *Nucl. Phys. A* **831**, (2009) 243.

[3]. F. Bissey, A. W. Thomas, I. R. Afnan,'' Structure functions for the three-nucleon system '', *Phys. Rev. C* **64**, (2001) 024004.

[4]. K. Ackersta et al (HERMES Collaboration),'' Measurement of the neutron spin structure function *gn1* with a polarized 3He internal target '', *Phys. Lett. B* **404**, (1997) 383.

[5]. D. Adams et al (SMC Collaboration),'' A new measurement of the spin-dependent structure function $g_1(x)$ of the deuteron '' *Phys. Lett. B* **357,** (1995) 248 .