پژوهشگاه دانشهای بنیادی

شماره مقاله (سخنرانی) : ۱۰

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

یک مدل کوارکی نسبیتی برای حالت های پایه و تشدیدی باریون های سبک

مهدی اصلان زاده، علی اکبر رجبی

شاهرود - بلوار دانشگاه - دانشگاه صنعتی شاهرود - دانشکده فیزیک

چکیده

ما در این مقاله باریون ها را بصورت یک سیستم مقید سه جسمی نسبیتی بررسی می کنیم. با ارائه یک توصیف نسبیتی مستقل از اسپین برای بخش SU(6)- ناوردای طیف، مقادیر انرژی میانگین باریون ها (و باریون های تشدیدی) را بازتولید کردیم. در ادامه برای توصیف ساختار فوق ریز باریون، جداشدگی بین طیف چند جزئی SU(6) را از طریق جملات اختلالی وابسته به اسپین و ایزو اسپین محقق کردیم. با استفاده از این مدل، طیف جرمی باریون های سبک، به خوبی بازتولید شده و با نتایج آزمایشگاهی تطابق دارد

مدل کوارک سازنده که برای توصیف طیف و ساختار داخلی هادرونها بکار میرود [1] ، همانطور که از محاسبات QCD پیشنهاد می شود، شامل یک برهمکنش کوارکی فوق مرکزی است که از دوجمله کولنی-مانند و خطی تشکیل شده است. با توجه به اینکه بررسی نسبیتی رفتار کوارکها اهمیت زیادی دارد ، در اینجا ما قصد داریم باریون ها را به عنوان سیستم سه کوارکی نسبیتی بررسی کنیم. از آنجایی که طیف باریونی آزمایشگاهی، یک تقارن SU(6) بنیادین را برای طیف رزونانس های باریونی مشاهده شده نشان می دهد، ما باریون ها را به عنوان یک سیستم سه کوارکی مستقل از اسپین در نظر گرفته و یک توصیف نسبیتی مستقل از اسپین برای بخش SU(6)- ناوردای طیف معرفی کردیم. سپس به منظور شکافتگی طیف جرمی باریونی، اثرات برهمکنش های فوق ریز اسپین و ایزواسپین بر روی طیف انرژی نسبیتی باریون ها محاسبه می شود.

یک مدل کوارکی نسبیتی برای باریون ها

بر اساس مدل کوارکی باریون ها متشکل از سه کوارک می باشند . برای یک سیستم سه-جسمی سه حالت می توان متصور شد که هر ذره با ذرات دیگر برهمکنش داشته باشد. با فرض انرژی و جرم یکسان برای هر سه ذره و با احتساب اثرات نسبیتی و چشم پوشی از اسپین ذرات، معادله توصیف کننده این سیستم معادله کلاین-گوردون سه جسمی به شکل زیر خواهد بود. [3].

$$(\sum_{i=1}^{3}[\mathrm{p}_i{}^2+(m+\frac{1}{4}\sum_{j\neq i}^{3}S_{ij})^2-(\epsilon-\frac{1}{4}\sum_{j\neq i}^{3}V_{ij})^2])|\Psi\rangle=0 \qquad (۱)$$

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

که در اینجا p_i تکانه خطی و m جرم هر ذره ، $3(\epsilon - m)$ انرژی بستگی سیستم سه نوکلئونی نسبیتی و $|\Psi\rangle$ تابع موج کل سیستم سه جسمی است. V_{ij} و S_{ij} به ترتیب پتانسیل های برداری و اسکالر بین دو ذره (i,j) می باشد. با انتخاب پتانسیل های برداری و اسکالر برابر، معادله (۱) با استفاده از روش فوق کروی قابل حل خواهد بود [1,2,3]. با استفاده از فرمالیسم فوق کروی معادله (۱)به شکل یک معادله مشتقی تک متغیره درمی آید که تنها شامل متغیر ابرشعاع است.

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{5}{x}\frac{\partial}{\partial x}-\frac{\gamma(\gamma+4)}{x^2}+3(\epsilon^2-m^2)-(m+\epsilon)V(x)\right]\Psi_{n\gamma}(x)=0 \qquad (2)$$

معادله (۳) به ازای پتانسیل فوق کولنی به صورت تحلیلی دقیق حل می شود که ویژه مقدار انرژی و ویژه توابع مسئله فوق کولنی نسبیتی بدین صورت بدست می آیند.

$$E_{n,\gamma}=\frac{-c^2m}{2\left(n+\gamma+\frac{5}{2}\right)^2}, \quad \Psi_{n\gamma}(x)=\sqrt{\frac{n!\,(2g)^6}{2\left(n+\gamma+\frac{5}{2}\right)[(n+2\gamma+4)!]^3}}(2gx)^{\gamma}e^{-gx}L_n^{2\gamma+4}(2gx) \qquad (3)$$

که در اینجا $g=(m+\epsilon_{n,\gamma})c/(2n+2\gamma+5)$ و $L_n^{\alpha}(x)$ ها چندجمله ای های لاگر تعمیم یافته هستند. اما پتانسیل فوق کولنی کوارکها را داخل باریون محبوس نمی کند لذا پتانسیل نگهدارنده بصورت یک جمله خطی اضافه می شود. معادله (2) به ازای پتانسیل "کولنی+خطی" حل تحلیلی ندارد مگر اینکه با جمله خطی بصورت اختلال رفتار کنیم که این شرط برای حالت های تراز پایین کاربردی است. با استفاده از ویژه توابع (3)، ویژه مقادیر انرژی، $E_{n,\gamma}=3(\epsilon_{n,\gamma}-m)$، بدین شکل بدست می آیند.

$$E_{n,\gamma}=\left(-\frac{c^2m}{2\,n^2}+3m\left(\sqrt{1+\frac{b}{3m^2c}\left[3n^2-\gamma(\gamma+4)-\frac{15}{4}\right]\left[1+\frac{c^2}{12\,n^2}\right]}-1\right)\right)\left[1+\frac{c^2}{12n^2}\right]^{-1} \qquad (4)$$

که در آن $n=n'+\gamma+5/2$. بنابراین طیف جرمی در غیاب برهمکنش فوق ریز برابر می شود با $M_{n,\gamma}=E_0+E_{n,\gamma}$ که در اینجا E_0 به منظور بازتولید جرم نوکلئون در $n=\frac{5}{2}$ $(n'=\gamma=0)$ اضافه شده است. در ادامه برای بازتولید *جداشدگی بین طیف* چند جزئی SU(6) از بر هم کنش ریز فوق مرکزی اسپین و ایزواسپین استفاده می کنیم. در اینجا ما اثرات بر هم کنش اسپین- اسپین ، ایزواسپین - ایزواسپین واسپین- ایزواسپین را بصورت پتانسیل اختلالی وارد مسأله می کنیم که برای توصیف طیف **انرژی های** پایین تر از ۲ GeV مناسب است. شکل کلی این برهمکنش به صورت زیراست

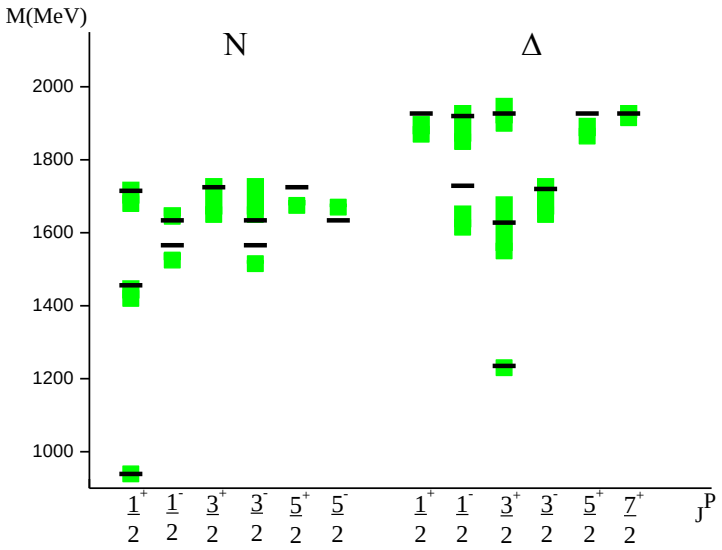
$$H_{hyperfine}=H_S+H_I+H_{SI}, \qquad H_S=A_S\sum_{i<j}\frac{1}{\left(\sqrt{\pi}\sigma_S\right)^3}e^{-r_{ij}^2/\sigma_S^2}(\mathbf{s}_i.\mathbf{s}_j),$$
$$H_I=A_I\sum_{i<j}\frac{1}{\left(\sqrt{\pi}\sigma_I\right)^3}e^{-r_{ij}^2/\sigma_I^2}(\mathbf{t}_i.\mathbf{t}_j), \qquad H_{SI}=A_{SI}\sum_{i<j}\frac{1}{\left(\sqrt{\pi}\sigma_{SI}\right)^3}e^{-r_{ij}^2/\sigma_{SI}^2}(\mathbf{s}_i.\mathbf{s}_j)(\mathbf{t}_i.\mathbf{t}_j) \qquad (5)$$

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

که H_S ، H_I و H_{SI} به ترتیب جملات مربوط به برهمکنش اسپین-اسپین، ایزواسپین-ایزواسپین و اسپین-ایزواسپین می باشند. در روابط فوق، $\mathbf{s}_i$ $(\mathbf{t}_i)$ اپراتور اسپین (ایزواسپین) کوارک i ام و r_{ij} فاصله نسبی جفت کوارکها می باشد. شدت بر هم کنش فوق ریز از تفاضل جرم $N-\Delta$ بدست می آید [1]. طیف باریونی مجموع طیف جرمی در غیاب برهمکنش فوق ریز و انرژی سیستم مختل شده توسط بر هم کنش ریز فوق است، $M_{baryon} = M_{n,\gamma} + \langle H_{hyp} \rangle$. در شکل (۱) طیف جرمی (رزونانس های) باریون های سبک، در مقایسه با مقادیر آزمایشگاهی [4]، داده شده است.

نتیجه گیری

در این مقاله، با حل معادله سه جسمی کلاین-گوردون بعنوان یک توصیف نسبیتی مستقل از اسپین برای بخش SU(6)- ناوردای طیف باریونی، مقادیر انرژی میانگین باریون ها (و باریون های تشدیدی) را بازتولید می کنیم. سپس با استفاده از تابع موج بدست آمده، مقدار چشم داشتی پتانسیل های وابسته به اسپین و ایزواسپین را بدست آورده و سهم هر یک از این اثرات را در جرم باریون محاسبه می نماییم.تطابق خوب نتایج به دست آمده از مدل با مقادیر آزمایشگاهی نشان می دهد که مدل کنونی علیرغم سادگی اش، با لحاظ کردن اثرات نسبیتی در بازتولید نتایج آزمایشگاهی موفق عمل می کند.



شکل ۱. طیف جرمی بدست امده برای باریون های سبک. خطوط سیاه نشانگر نتایج بدست آمده از مدل کنونی و مستطیل های سبز، مقادیر آزمایشگاهی هستند. مقادیر پارامترهای برازش داده شده معادله (۵) و پارامترهای پتانسیل عبارتند از $c = 7.7\ fm^{-3}, b = 0.176, A_S = 67.4\ fm^2, \sigma_S = 2.87\ fm, A_I = 51.7\ fm^2\ \sigma_I = 3.45\ fm, A_{SI} = -106.2\ fm^2,\ \sigma_{SI} = 2.31\ fm$.

مراجع:

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

[1] M. Ferraris, M.M. Giannini, M. Pizzo, E. Santopinto and L. Tiator, Phys. Lett. B **364**, 231 (1995).

[۲] M.M. Giannini, E. Santopinto, and A. Vassallo, Progressin Particle and Nuclear Phys. **50** (2003) 263.

[۳] M. Aslanzadeh, A. A. Rajabi, Eur. Phys.J. A **50** (2014) ۱۵۱

[٤] K. Nakamura *et al* (Particle Data Group), J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **37** (2010) 07502۱