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

محاسبه طیف جرم مزون‌های اوپسیلون(Υ) و سایون (J/ψ)

آرزو جهانشیر

گروه فیزیک و مهندسی فیزیک، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوبین زهرا، قزوین

چکیده

*یکی از اساسی‌ترین دستاوردهای نظریه کوانتوم نسبیتی، بررسی و تعیین اثرات سرعت‌های بالا بر روی طیف جرم سیستم‌های کوانتومی در حالات مقید پایه و برانگیخته است. چنین سیستم‌هایی عموما از کوارک وگلئون تشکیل شده اند که در این مقاله تغییرات جرم نسبیتی را در ساختار کوارکونیوم متشکل از کوارک‌های سنگین یعنی اوپسیلون(Υ) و سایون(J/ψ) تعیین می‌نماییم. تعیین جرم سامانه‌های ذرات بنیادی با استفاده از پتانسیل کرومودینامیکی سیستم‌های مقید هادرونی با دخالت درجات بالاتر اصلاحات نسبیتی در معادلات دینامیکی ضرورت دارد. از دیدگاه فیزیک تجربی، تشکیل ساختار کوارکونیوم‌های سنگین در شرایط آزمایشگاهی نیازمند استفاده از اصول و روش‌های محاسباتی نظری است که بر اساس قوانین تئوری میدان و تکنیک‌های فیزیک کوانتومی تبیین می‌شود. به همین دلیل در مطالب ارایه‌شده خصوصیات سیستم مقید مزون‌های سنگین اوپسیلون و سایون با توجه به شرایط نسبیتی و دخالت معادلات دینامیکی اثرات اصلاحات مرتبه‌های بالا گنجانده شده است. اثرات نسبیتی در ساختار هادرون‌ها مستقیما بر روی جرم کل سیستم مقید و جرم ذرات تاثیر می‌گذارد که این موضوع عامل بسیار مهمی در بررسی اثر تغییرات جرم و طیف انرژی است. از این رو با استفاده از اصول روش توصیفی نوسانگر اندرکنش دو ساختار مزون سنگین متشکل از کوارک و آنتی کوارک افسون(*cc) و ته (*bb) معرفی شده و طیف جرم مقید کوارکونیوم و جرم کاهیده ذرات محاسبه و ارایه می‌گردد.*

مقدمه

معادلات دینامیکی ساختار ذرات بنیادی با استفاده از اثرات اندرکنش قوی در تعیین خصوصیات اصلی سامانه‌های هادرون‌های سنگین متشکل از دو کوارک نقش بسیار مهمی در تعابیر فیزیکدانان نظری ذرات بنیادی داشته‌است. دخالت اثرات متفاوت خصوصیات ویژه ذرات بنیادی مانند اثرات اسپینی، اسپین–اربیتالی و ایزواسپینی راه‌کارهای مناسبی در توصیف اندرکنش بین هادرونی داشته است. از این رو شناخت اثرات جانبی با استفاده از هامیلتونی متفاوت این اثرات تغییر و تحولات چشمگیری در تعیین طیف جرم، طیف انرژی و تشکیل سیستم‌های مقید و برانگیخته جدید در قالب هادرون‌های شگرف یا هادرون‌های اگزوتیک دارد. از این رو ساختار کوارکونیوم را بر اساس پتانسیل هادرونی اندرکنش $V \cong -\frac{4}{3}\frac{\alpha_s}{r} + \sigma.r$ بررسی می‌نماییم که در این پتانسیل $\alpha_s = 0.30$ضریب اندرکنش قوی و $\sigma = 0.2GeV$ ضریب تنش ریسمانی است. ساختار پتانسیل ارایه شده در بالا مبنی بر هامیلتون اندرکنش تبادل تک گلئونی است که مطابق اصول برخورد قوی و نظریه کوانتومی میدان تعریف می‌شود. کاربرد پتانسیل پیشنهادی در کوارکونیوم سنگین منجر به این می‌شود که بتوانیم مقادیر دقیقی از طیف انرژی و جرم سامانه‌های هادرونی در دیدگاه معادلات دینامیکی- نسبیتی شرودینگر بدست آوریم [۱]:

$$\left(\sqrt{m_1^2 + p^2} + \sqrt{m_2^2 + p^2} + V(r)\right)\Psi(r) = E\Psi(r) \qquad (۱)$$

در تحلیل دینامیکی ساختار مقید هادرونی تعیین هامیلتونی کل سیستم که کلیه اثرات اصلی و جانبی اندرکنش را نمایان نماید اهمیت خاصی دارد و هدف اصلی محاسبات نظری می‌باشد. سیستم‌های مورد بحث در این مقاله مزون‌های اوپسیلون و سایون متشکل از کوارک‌های سنگین افسون و ته است که توسط پتانسیل یکنواخت اندرکنش قوی $V(r)$ در حالت پایه و مقید بررسی می‌شوند. رویکرد نظری پیشنهادی برای محاسبه طیف جرم نسبیتی و هامیلتونی کل کوارکونیوم با استفاده از رفتار مجانبی تابع عملگر پلاریزاسیون حلقه و قطبش دو ذره باردار در میدان پیمانه‌ای خارجی می‌باشد[۲، ۳]. اثرات نسبیتی و اصلاحات معین شده در

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

طیف جرم کل سیستم و در جرم داخل سیستم هر ذره نمایان می‌شود که در مقایسه با جرم ذرات در حال سکون به وضوح تاثیر اندرکنش قوی و برخورد شدید در شرایط نسبیتی تعیین می‌گردد. اثراصلاحات موثر در جرم مستقیما با استفاده از تئوری کوانتومی میدان بیان شده و روش محاسباتی آن از طریق روش توصیفی نوسانگر شکل می‌گیرد. در نظریه کوانتومی میدان عملگر تابع حلقه و وابستگی آن با تابع گرین به خوبی تعریف شده است که می‌توان جرم و انرژی پایه در سیستم مقید مزون‌های اوپسیلون و سایون را محاسبه نمود. با توجه به وابستگی تابع عملگر حلقه و تابع انتشار میدان، بعد از میانگین‌گیری روی کل حالات میدان و در نظر گرفتن مراتب پایین اثرات همبستگی دو نقطه‌ای گوسی، تابع گرین را بدست می‌آوریم[۵، ٤]. حل تابع گرین را در قالب مدل ریاضی توابع انتگرال توصیف می‌نماییم وتوابع انتگرالی را از طریق انتگرال مسیر فاینمن برای حرکت و اندرکنش ذرات اسکالر با اجرام متفاوت باز نویسی می‌نماییم. تحلیل اندرکنش کوارک و آنتی کوارک ملزم به تفکیک پتانسیل اندرکنش به دو بخش پتانسیلی و غیر پتانسیلی است. بنابراین هامیلتونی کل سیستم را بر اساس این دو نوع پتانسیل مجزا، تکمیل می‌نماییم که با استفاده از معادله دینامیکی شرودینگر طیف جرم و انرژی محاسبه خواهد شد. رابطه شرودینگر به خوبی نشان می‌دهد که مقدار ویژه انرژی هامیلتونی کل سیستم به جرم کاهیده ذرات و ضریب اندرکنش قوی وابسته است. از این رو مقدار جرم سیستم مقید مزون‌های سنگین و جرم کاهیده کوارک‌های نشسته در اوپسیلون و سایون را بدست می‌آوریم.

طیف جرم در ساختارهای هادرونی

با استفاده از میانگین‌گیری از تابع گرین درتابع حلقه اندرکنش دو ذره باردار m_1 و m_2 روی میدان پیمانه‌ای خارجی $A_\alpha(x)$، عملگر پلاریزاسیون حلقه در این میدان به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\Pi(x-y)=\left\langle G_{m_1}(x,y\mid A)\,G^{*}_{m_2}(y,x\mid A)_A\right\rangle \qquad (۲)$$

که در این رابطه تابع گرین $G(x,y\mid A)$برابر است با:

$$\left[\left(i\frac{\partial}{\partial x_a}+\frac{g}{c\hbar}A_a(x)\right)^2+\frac{c^2m^2}{\hbar^2}\right]G(x,y\mid A)=\delta(x-y) \qquad (۳)$$

m- جرم ذرات اسکالر و g- کمیت ثابت برخورد است. تابع گرین تحت تبدیلات میدان قرار داده شده و از طریق انتگرال مسیر فاینمن و توابع انتگرالی بیان می‌گردد[۷، ٦]. بعد از میانگین گیری از رابطه تابع گرین روی میدان خارجی و ارایه آن به صورت مدل ریاضی توابع انتگرالی که به شکل انتگرال مسیسری فاینمن در مباحث کوانتوم نسبیتی برای دو ذره به جرم‌های متفاوت در شرایط حدی سیستم $|x-y|\to\infty$ واز وابستگی تابع حلقه به جرم سیستم به راحتی م جرم ساختار مزون‌های سنگین اوپسیلون و سایون را تعریف نماییم[۱۰-۸]:

طیف جرم سیستم کوارکونیوم عبارت خواهد بود با:

$$M=-\lim_{|x-y\to\infty|}\frac{\ln\Pi(x-y)}{|x-y|}\Rightarrow M_{system}=2\left(m^2-2\mu^2\frac{\partial E(\mu)}{\partial\mu}\right)^{1/2}+\mu\frac{\partial E(\mu)}{\partial\mu}+E(\mu) \qquad (٤)$$

μ-پارامتری است که از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{1}{\mu}=\frac{1}{\mu_1}+\frac{1}{\mu_2}=\frac{2}{\mu_1}=2\left(m^2-2\mu^2\frac{\partial E(\mu)}{\partial\mu}\right)^{-1/2} \qquad (٥)$$

کمیت$E(\mu)=0.40GeV$ مقدار ویژه تابع هامیلتونی سیستم (انرژی پیوندی سیستم مقید هادرونی) است و از قراردادن رابطه (۱) در شکل انتکرالی تابع گرین اندرکنش تعیین می‌گردد:

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

$$E(\mu_1,\mu_2) = M_{system} - \frac{1}{2}((\mu_1+\mu_2) - \frac{m_1^2\mu_1 + m_2^2\mu_2}{2\mu_1\mu_2} = M_{system} - \mu_1 - \frac{m_1^2}{\mu_1} \Rightarrow$$

$$E(\mu) = M_{system} - 2\mu - \frac{m^2}{2\mu} \qquad (٦)$$

از رابطه (٦) مشخص است که مقدار ویژه تابع هامیلتون، تنها وابسته به جرم کاهیده سیستم مقید است. پارامترهای $\mu_1 = \mu_2$ جرم کاهیده هر ذره در ساختار مقید کوارکونیوم است که متفاوت با جرم سکون ذرات کوارک $m=m_b=4.62GeV$, $m=m_c=1.28GeV$ است. از روابط ارایه داده شده در بالا و در مراجع طیف جرم سیستم مقید مزون‌های سنگین اوپسیلون(Υ) وسایون(J/ψ) بدون اثرات هامیلتون اسپینی را با استفاده از روش توصیفی نوسانگر به صورت زیر محاسبه و تعیین می‌نماییم:

$$\left(M_{c\bar{c}} = 2982MeV, \mu_b = 1.43GeV\right) \text{ and } \left(M_{b\bar{b}} = 9401MeV, \mu_b = 4.74GeV\right)$$

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت مطالعه در ساختار مزون‌های سنگین روش و متد ارائه‌شده در بررسی سیستم‌های مقید کوارکونیوم مفید می‌باشد. ترویج روش توصیفی نوسانگر در تعیین مقدار ویژه انرژی، طیف جرم و انرژِ حالات پایه و مقید ساختارهای هادرونی در ارایه نظریه‌های جدید و ساختارهای جدیدی از ذرات هادرونی دو و سه ذره‌ای وحتی بیش از سه ذره جالب توجه بوده و کمک شایانی درمحاسبه اثرات نسبیتی در آنهاست.. بکارگیری این روش و تکیه بر معادلات میدان هامیلتون کامل سیستم که اثرات اسپین- اربیتالی و اسپین–اسپینی را در بر می‌گیرد نیز از راه‌کارهای محاسباتی بالا پیروی می‌نماید و براحتی قابل تعیین می‌باشد. بطور کلی نتایج بدست آمده از این تحقیق نظری که با نتایج تجربی تطابق دارد[١١]، روشی برای توصیف و محاسبه طیف جرم ذرات مقید در سیستم یکپارچه و تعیین جرم کاهیده هر ذره است که مستقیما اثرات کوانتومی نسبیتی را در بر می‌گیرد.

مراجع

[1] Dineykhan M., Efimov G.V., "The Schrodinger equation for the Bound State Systems in the Oscillator Representation", *Reports on Mathematical Physics*, **36**, 287-307, 1995.
[2] Quigg C. and Rosner J.L, "Quantum mechanics with applications to quarkonium", *Physics Reports,* **59**, 1979.
[3] Bail G.S. and Boyle P., "A Lattice potential investigation of quark mass and volume dependence of the Upsilon spectrum", *Phys.Rev.,* D**59**, 1999.
[4] Dineykhan M., Efimov G.V. and Narmsrai Kh., "Investigation of Green Functions and the Parisi-Wu Quantization Method in Background Stochastic Fields", *Fortsh. Phys*., **39**, 1991.
[5] Jahanshir A., "Green's function and its application to determination of mass spectrum in QFT and QCD", *Journal of Applied Physical Science International,* **4(4)**, 210-217, 2015.
[6] Duffy D. G., *"Green's Functions with Applications"*, Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC, 2001.
[7] Feynman R., Hibbs A., *"Quantum mechanics and path integrals"*, NY publishing, 1968.
[8] Dineykhan M., Jahanshir A., Sakhyev S.K., "Definition of masses of bound states", *Journal Poisk,* , **3(2)**, 199-202, 2003.
[9] Jahanshir A., "Exotic pi-atom", First ICP, Iran, 679-682, 2004.
[10] Efimov G.V., "Oscillator representation method", *Int. J. Mod. Phys*. A 4, 4977-4983, 1989.
[11] Beringer J. et al. "Review of Particle Physics", *Phys. Rev. D,* **86**, 2012.