مطالعه اثرفضای داخلی بر پتانسیل کوارک پادکوارک با استفاده از دوگان AdS/CFT

روح الله اکبری[1]، کاظم بی تقصیر فدافن[2]

[1و2]دانشکده فیزیک – دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده:

در این تحقیق مزون سنگینی درنظر گرفته می شود که در خلاء $N=4$ یانگ میلز قرار گرفته است.با استفاده از دوگانگی AdS/CFT و متریک زمینه ی $AdS_5 \times S_5$ اثر کره ی S_5 بر پتانسیل میان کوارک - پادکوارک تحقیق می شود.مشاهده می شود که فضای داخلی برانرژی کوارک-پادکوارک تاثیر گذاشته و با زیادشدن آن قدرمطلق انرژی کمتر می شود.

مقدمه:

فضای $AdS_5 \times S_5$ فضای خمیده است که در هر نقطه از فضای AdS_5 کره ای پنج بعدی هم قرار دارد.با استفاده از تقریب کلاسیکی، پتانسیل کولنی $Q\bar{Q}$ را از طریق تناظر AdS/CFT[1] برای دماهای صفر (خلا)و برای کوارک هایی که دارای جهت گیری های اختیاری درونی صفر هستند،بدست می آوریم.از آنجاییکه روی مرز AdS بی نهایت کره های ۵ بعدی وجود دارد هر نقطه و یا هر کوارک یا پادکوارک می توانند در داخل این کره ها با زاویه های مختلف قرار بگیرند،حال می خواهیم بادرنظرگرفتن این جهت گیریهای اختیاری کوارک و پادکوارک، پتانسیل را محاسبه نموده و اثر این فضای داخلی را بر پتانسیل میان کوارک و پاد کوارک بررسی کنیم.

بنابراین وضعیت های مورد مطالعه عبارتند از: $\theta = 0, \theta \neq 0$

که درآن θزاویه نسبی میان کوارک و پادکوارک است که درون کره های ۵بعدی جهت گیری کرده اند .

با در نظر گرفتن نظریه یانگ میلز مقدار انتظاری حلقه ویلسون عبارتست از :

$$< W(C) > \sim e^{-S}$$

که Cیک حلقه بسته در فضا-زمان را نشان می دهد و Trبیانگر همه ی نمایش های بنیادی است.ما می توانیم حلقه های ویلسون را به عنوان یک عامل فاز مربوط به انتشارگر یک کوارک خیلی سنگین درنمایش بنیادی گروه پیمانه ای درنظر بگیریم که S کنش ریسمان متناظر با حلقه ویلسون می باشد.

در مورد اول $\theta = 0$ یعنی حالتیکه زاویه نسبی میان کوارک و پادکوارک خاموش بوده متریک در یک فضای $AdS_5 \times S^5$ عبارتست از[2]:

$$ds^2 = \alpha'[\frac{U^2}{R^2}(dt^2 + dx_i dx_j) + R^2 \frac{dU^2}{U^2} + R^2 d\Omega_5^2] \qquad (۱)$$

کنش نامبو-گوتو مربوط به ریسمان رابه ترتیب زیر بدست می آوریم

$$S = \frac{T}{2\pi}\int dx \sqrt{(\partial_x U)^2 + \frac{U^4}{R^4}} \qquad (۲)$$

با توجه به پایستگی انرژی می توان این چگالی هامیلتونی را با چگالی هامیلتونی در نقطه $U_{\min}$ یعنی نقطه برگشت ریسمان جایی که U' برابر با صفر است برابر گرفت و با استفاده از آن فاصله میان کوارک- پادکوارک محاسبه می شود.

$$\frac{L}{2}=\frac{R^2}{U_0}\int_1^{\infty}\frac{dy}{y^2\sqrt{y^4-1}}=\frac{R^2}{U_0}\frac{\sqrt{2}\pi^{\frac{3}{2}}}{\Gamma(1/4)^2} \qquad (۳)$$

انرژی کوارک–پادکوارک نیز از رابطه زیر بدست می آید که در این رابطه خودانرژی کوارک ها نیز لحاظ شده است.

$$E=-\frac{4\pi^2(2g_{ym}^2N)^{1/2}}{\Gamma(1/4)^4L} \qquad (۴)$$

در نتیجه انرژی با عکس طول میان کوارک و پادکوارک (L) متناسب شد و این همان نکته ی قابل انتظاراست چرا که وقتی جهت گیری های درونی کوارک و پادکوارک و همچنین تصحیحات کوانتومی را نادیده بگیریم انتظار داریم پتانسیل تغییری نکند و همان پتانسیل کولنی را نتیجه دهد همچنین انرژی با $(g_{YM}N)^{1/2}$ برخلاف حالت اختلالی آن یعنی gN متناسب شد که این هم با فرض اولیه مساله که حالت غیر اختلالی را درنظر گرفتیم درتطابق است.

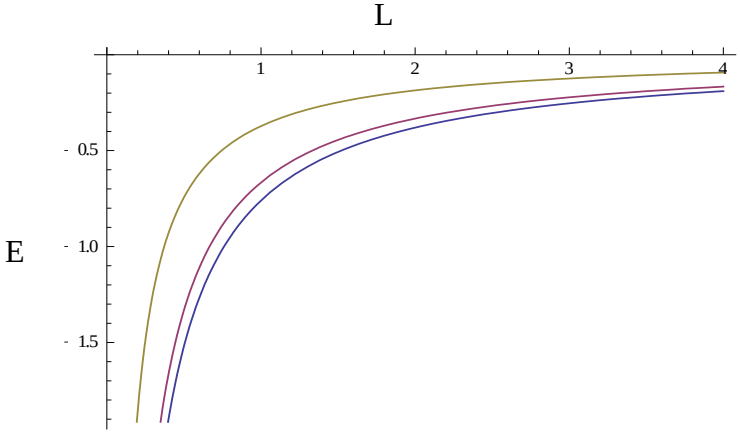
در مورد دوم $\theta\neq 0$ سمت گیری نسبی میان کوارک و پادکوارک را در کره های ۵بعدی در نظر می گیریم و پتانسیل را محاسبه می کنیم .در این مورد برای کنش داریم:

$$S=\frac{T}{2\pi}\int dx\sqrt{(\partial_x U)^2+U^2(\partial_x\vec{\theta})^2+\frac{U^4}{R^4}} \qquad (۵)$$

که همانطور که نمایان است زاویه های داخلی کوارک –پادکوارک با وارد شدن جمله سوم متریک که مربوط به کره های ۵بعدی می باشد ، در کنش ظاهر شده است.ما با درنظرگرفتن این نکته که لاگرانژی موجود در رابطه (۵) به طور صریح وابسته به x و θ نمی باشد ، دو کمیت پایسته داریم[3] و براساس آن ها انرژی سیستم محاسبه می شود حاصل عبارتست از:

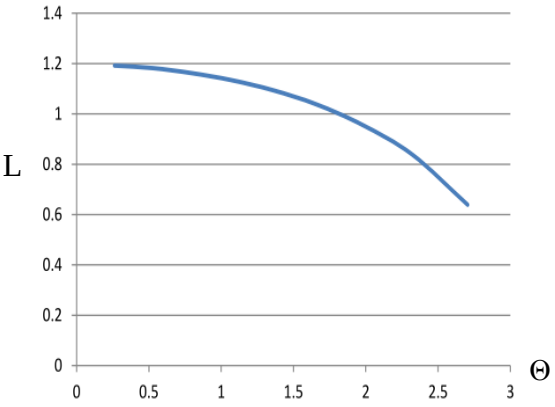
$$E=-\frac{2}{\pi}\frac{(2g_{YM}^2N)^{1/2}}{L}(1-l^2)^{3/2}I_1^2(l) \qquad (۶)$$

از رابطه (۶) برمی آید که l تابعی از زاویه می باشد،پس با وارد شدن l پتانسیل نیز تحت تاثیر قرار گرفته است.

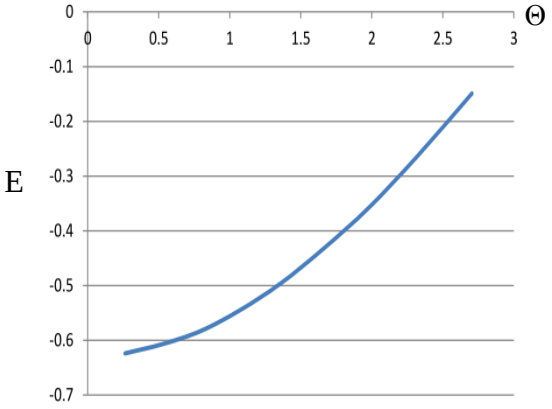


شکل ۱:نمایی از پتانسیل میان کوارک–پاد کوارک بر حسب فاصله بادرنظرگرفتن اثر فضای داخلی از پایین به بالا $\pi,\frac{\pi}{2},0$

در نمودار فوق پایین ترین منحنی بازای $\theta=0$ بوده که همان حالت مورد بررسی در مورد االف است، با وارد شدن θ و تغییر دادن آن بازای مقادیر $\pi,\pi/2,\pi/4$خواهیم دید که وقتی زاویه میان زوج کوارک-پادکوارک در کره های S^5 افزایش یابد سریع تر کوارک و پادکوارک از قید هم خارج شده و انرژی بستگیشان زودتر به صفر میل می کند.



شکل ۳: فاصله میان کوارک-پاد کوارک بر حسب زاویه در فضای داخلی



شکل ۲: انرژی بستگی میان کوارک-پاد کوارک بر حسب زاویه در فضای داخلی

این نمودار بیان می کند که با افزایش زاویه، فاصله میان کوارک و پادکوارک کوچکتر شده و این زوج زودتر از قید هم خارج شده و جدا می شوند و یا باصطلاح مزون ما سریعتر ذوب می شود.

نتیجه گیری:

قبلاً پتانسیل میان کوارک-پادکوارک با استفاده از تناظر AdS/CFT برای حالتی که زاویه میان کوارک-پادکوارک خاموش بوده است محاسبه شده است[3] ولی حالا با روشن کردن این زاویه مشاهده شده است که پتانسیل به فضای داخلی که در آن کوارک-پادکوارک با زوایای مختلف قرارگرفته اند وابسته شده و هرچه این زاویه بیشتر شود این زوج از قید هم سریعتر خارج شده و انرژی بستگیشان از یک حالت مقید و منفی به صفر میل می کند.

مرجع ها:

[1]:Large N Field Theories String Theory and Gravity **hep-th/9905111**

[2]: Wilson loops in large N field theories Juan Maldacena **Phys.Rev.Lett. 80 (1998) 4859-4862** arXive**: 9803002v3 [hep-th]**

[3]- $Q^{-}Q$ potential from AdS-CFT relation at $T \geq 0$: Dependence on orientation in internal space and curvature corrections higher H. Dorn, H.-J. Ott **JHEP 9809 (1998) 021** arXiv: **9807093v2 [hep-th]**