پژوهشگاه دانش‌های بنیادی

شماره مقاله : ۴۰

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

بررسی جهان سطح کوارک-پادکوارک شتابدار

کاظم بی تقصیر فدافن سیده مریم رمضانی

دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده

مسیر یک ذره در فضا زمان جهان خط نامیده می شود. مسیر حرکت یک ریسمان در فضا زمان رویه ای است دو بعدی، که ریسمان در فضا-زمان جاروب می کند و به آن جهان سطح می گویند. در این مقاله به بررسی جهان سطح کوارک-پاد کوارک شتابدار با استفاده ازAdS/CFT پرداخته می شود و در مورد تأثیر انتخاب مختصات کروی یا پوانکاره فضای AdS در بررسی مسأله بحث می شود.

ریسمان ها به دو شکل باز و بسته می باشند پس جهان سطح ریسمان باز در فضا زمان به شکل یک نوار است و جهان سطح ریسمان بسته در فضا زمان به شکل لوله است. صفحات جهان سطح در فضا زمانی قرار دارند که به آن فضای هدف گفته می شود. به علت دو بعدی بودن جهان سطح برای پارامتر بندی آن به دو پارامتر احتیاج داریم که در پیمانه ی ایستا عبارتند از پارامتر ویژه زمان τ و دیگری که با طول ریسمان مرتبط می باشد وبا σ معرفی می شود. مسیر ریسمان در فضا زمان توسط $X^{\mu}(\tau,\sigma)$ داده می شود. کنش ریسمان کنش نامبو-گوتومی باشد :

$$s=-\frac{T_{\circ}}{c}\int d\tau\int d\sigma\sqrt{-det\gamma_{\alpha\beta}} \qquad (۱)$$

که در آن $T_{\circ}$ تنش ریسمان و c سرعت نور است. بر حسب این توابع مولفه های یک متریک القایی دو بعدی $\gamma_{\alpha\beta}$بر جهان سطح ریسمان به صورت زیر می باشد[۱و۲]:

$$\gamma_{\alpha\beta}=\partial_{\alpha}X^{M}\partial_{\beta}X^{N}G_{\mu\nu} \qquad (۲)$$

و داریم:

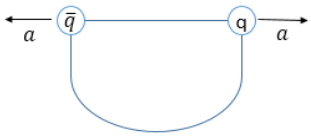
$$\gamma_{\alpha\beta}=\begin{bmatrix}\dot{X}^{2} & \dot{X}\acute{X}\\ \acute{X}\dot{X} & \acute{X}^{2}\end{bmatrix} \qquad (۳)$$

که $G_{\mu\nu}$ متریک فضای هدف است و فضای هدف یعنی جایی که ریسمان در آن حرکت می کند. مشتق زمان و مکان را نسبت به τ و σ می گیریم

$$\dot{X}^{2}=\dot{X}^{\mu}\dot{X}^{\nu}G_{\mu\nu} \text{ و } \acute{X}^{2}=\acute{X}^{\mu}\acute{X}^{\nu}G_{\mu\nu}$$

در این مقاله جهان سطح کوارک-پاد کوارک شتابداری را طبق شکل ۱ و با استفاده از تناظر AdS/CFT در نظر می گیریم

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



شکل ۱ : تصویر کوارک-پاد کوارک شتابدار در فضا-زمان AdS

در این شکل کوارک-پادکوارک با شتاب a در جهت های مخالف حرکت می کنند و مطابق تناظر AdS/CFT آن ها در انتهای یک ریسمان U شکل قرار گرفته اند. کوارک-پاد کوارک در مرز فضا زمان AdS هستند و ریسمان در فضای حجم گسترش یافته است. تناظر AdS/CFT روش مفیدی برای مطالعه سیستم های هم بسته ی قوی است. در این سیستم ها نمی توان از روش اختلال برای مسائلی که دارای ثابت جفت شدگی بالا می باشند استفاده کرد. AdS فضایی است به نام پاد دوسیته و مربوط به ریسمانهای بسته و گرانش می باشد و CFT نظریه همدیسی می باشد که در مرز فضا-زمان AdS زندگی می کند. فیزیک همدیس به این معنا اســـت که مقیاس انرژی نداریم یعنی فیزیک مســـأله در انرژی های کم و زیاد تغییرنمی کند [۳]. فضـــا-زمانAdS را می توان در دو مختصات جداگانه در نظر گرفت، در مختصات پوانکاره و در مختصات کروی. در مختصات کروی تصویر شکل ۱ کامل نیست و اطلاعات بیشتری نیاز داریم. نکته مهم این است که ریسمان باز دو انتها دارد که در AdS کروی هر دو انتها در روی مرز قرار دارند و در انتهای دوم ریسمان پاد کوارک قرار دارد. بنابراین تصویر کامل جهان سطح با در نظر گرفتن کوارک و پادکوارک کامل خواهد بود و باید شرایط دریچله را بر دو انتها اعمال کرد به این ترتیب می توان مسأله را دقیق حل کرد. به این ترتیب هر برانگیختگی توسط کوارک دقیقاً معادل پاسخی است که در سوی دیگر توسط پاد کوارک ایجاد شده است. برانگیختگی مورد نظر می تواند شامل حرکت ساده، حرکت شتابدار یا هر واکنش دیگری باشد که چون در ســوی دیگر ریســمان پاد کوارک قرار دارد، این واکنش به پاد کوارک منتقل می شــود. در این مقاله حرکت شــتابدار را بررســی می کنیم. برای حل باید شرایط مرزی خروجی رابدانیم. این شرایط مرزی جهان سطح ریسمان را تعیین می کند. به طور فیزیکی یعنی اینکه اگر حرکت انتهای ریسمان شتابدار باشد سایر قسمت های ریسمان هم به طور علّی در فضای حجم متأثر از این شتاب خواهند بود. این مسأله به طور دقیق توسط میخائیلوف بررسی شده است[۴]. مختصات کروی AdS_5 دارای مرز $S^3 \times R^1$ می باشد و نظریه میدان روی مرز فشرده زندگی می کند اما اگر مختصات پوانکاره را در نظر بگیریم چون فقط بخشی از مرز AdS کروی را می بینیم و بررسی می کنیم می توان فقط به کوارک بدون حضور پاد کوارک توجه کرد. می دانیم مختصات پوانکاره یعنی بخشی از AdSکروی وقتی که شعاع کره به بی نهایت رفته باشد. مثال مهم این مسأله در بررسی کوارک شتابدار نمایان می شود. در این نوع حرکت ها به نظر می رسد که نتوان یک کوارک تنها را بررسی کرد راه حل هایی که در این مورد ارایه شده است را در[۵] می بینیم. طبق پیشنهادی که در مرجع [۵] است، جهان سطح ریسمان به طور یکنواخت مسطح نیست، بلکه مانند امواج گلئونی ایی که کوارک شتابدار در زمان ابتدایی ایجاد می کند، یک موج ضربه ای ایجاد می کند. بخشی از جهان سطح ریسمان که تحت تحول زمانی کوارک شتابدار نیست و در[۶] بررسی شده است زمانگونه است.

اکنون کوارک-پادکوارک شتابدار در شکل ۱ را در مختصات پوانکاره بررسی می کنیم و نشان می دهیم که جهان سطح آن به لحاظ ژئودزی ناقص است. ابتداجهان سطح ریسمان را برای تک کوارکی با جهان خط اختیاری در مختصات پوانکاه مطالعه می کنیم. متریک فضا-زمان AdS عبارت است از:

$$ds^2 = \frac{1}{u^2}\left(\eta_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu + du^2\right) \qquad (4)$$

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

که در این متریک u بعد هولوگرام و $\eta_{\mu\nu}$ متریک مینکوفسکی است اندیس ها روی مرز تغییر می کنند.جهان خط کوارک را با $x^{\mu}(\tau)$ پارامتر بندی می کنیم. که τویژه زمان است. این جهان خط اختیاری زمانگونه است، سرعت با $\dot{x}^{\mu}(\tau)$ وشتاب با $\ddot{x}^{\mu}(\tau) = a^{\mu}(\tau)$ داده می شود وعبارات زیر را داریم:

$$a \perp \dot{x} \text{ و } \dot{x}^{\mu}(\tau)\dot{x}_{\mu}(\tau) = -1$$

$$a^{2}(\tau) = \ddot{x}^{\mu}(\tau)\ddot{x}_{\mu}(\tau) > 0 \qquad (5)$$

که برای هر مسیری صادق است. میخائیلوف [۴] با در نظر گرفتن مرز در $u = 0$ معادله جهان سطح را برای ریسمانی با شرایط مرزی خروجی که با مختصات شعاعی u و مختصات زمانی τ پارامتر بندی شده است حل می کند و مختصات در نظر گرفته شده X^{M} عبارت است از :

$$X^{M}(\tau, u) = (X^{\mu}(\tau, u), u) \qquad (6)$$

در این مقاله $\tau \in (-\infty, +\infty)$ و $u \in (0, \infty)$ را بررسی می کنیم و از

$$X^{\mu}(\tau, u) = u\dot{x}^{\mu}(\tau) + x^{\mu}(\tau) \qquad (7)$$

کمک می گیریم و جهان سطح دو بعدی را بررسی می کنیم. با استفاده از رابطه (۲) متریک القایی جهان سطح را در زمینه ی فضای هدف (٤) محاسبه می کنیم. نتیجه نهایی محاسبه عبارت است از:

$$ds_{\gamma}^{2} = -\left(\frac{1}{u^{2}} - a^{2}(\tau)\right)d\tau^{2} - \frac{2}{u^{2}}d\tau du \qquad (8)$$

برای این متریک دترمینان برابر مقدار منفی زیراست:

$$\det \gamma_{ab} = -\frac{1}{u^{4}} < 0 \qquad (9)$$

انحنا هم برابر $R_{ab}^{(\gamma)} = -\gamma_{ab}$ است و $R^{(\gamma)} = -2$. این جهان سطح چهار نقطه تکینگی در $\tau = -\infty, \tau = +\infty, u = \infty, u = 0$. با توجه به این تکینگی ها درمی یابیم که ژئودزی های جهان سطح در مختصات پوانکاره ناقص هستند. به عنوان یک مثال ساده حرکت با شتاب ثابت را در نظر می گیریم: $a^{2}(\tau) = a^{2}$.در این مورد جهان سطح ایستا می باشد.حل دقیق این مورد را بررسی می کنیم با استفاده از کنش نامبو-گوتو در معادله (۱) به معادله حرکت می رسیم $\frac{\partial}{\partial u}\left(\frac{\dot{x}u^{4}}{\sqrt{-g}}\right) - \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\dot{x}}{\sqrt{-g}}\right) = 0$ جواب این معادله به صورت

$$x = \pm\sqrt{t^{2} + b^{2} - \frac{1}{u^{2}}} \qquad (10)$$

است و در آن b برابر با معکوس شتاب a است.

نتیجه گیری:

در این مقاله جهان سطح کوارک-پادکوارک شتابدار با استفاده از نظریه ریسمان و دوگانگی AdS/CFT بررسی شد. استدلال شد که مختصات فضا-زمان AdS در بررسی مسأله نقش مهمی دارد و در نظر گرفتن مختصات کروی مناسب تر از مختصات پوانکاره است و به عنوان مثال جواب تحیلی دقیق برای مورد خاص شتاب ثابت ذکر گردید. با مطالعه مختصات پوانکاره متریک القایی جهان سطح ریسمان شتابدار مشخص می شود که چه تکینگی هایی در جهان سطح وجود دارند.

مرجع ها:

[1]A First Corse In String Theory ,by ;Barton Zwiebach, Cambridge University Press 2009

[۲] "مطالعه ریسمان باز در میدان غیر نسبیتی"نگارش:حسین برزه کار. پایان نامه کارشناسی ارشد.دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۳] "مطالعه حرکت شتابدار کوارک سنگین در پلاسمای کوارک گلئون" نگارش:محمد عابدینی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود.

[4]A. Mikhailov,"Nonlinear wave in AdS/CFT correspondence, " arXiv :hep-th/0305196[hep-th].

[5] J. A. Garcia, A.Guijosa, and E. J. Pulido,"No Line on the Horison: on Uniform Acceleration and Gluonic Fields at strong coupling,"JHEP 1301 (2013) 096,arXiv:1210.4175 [hep-th].

[6]B.W.Xiao, "On the exact solution of the acceleration string in AdS(5) space,"Phys.Lett.B665 (2008) 173-177,arXiv:0804.1343[hep-th]