

Espectro de hádrons à temperatura finita e a correspondência AdS/CFT

Nairy Aleximar Villarreal

Orientador: Alex dos Santos Miranda

Coorientador: Luis Alex Huahuachampi M.

Universidade Estadual de Santa Cruz

Ilhéus-Bahia

- Correspondência AdS/CFT

- Correspondência AdS/CFT
- Perturbações Electromagnéticas em buracos negros 4-d

- Correspondência AdS/CFT
- Perturbações Electromagnéticas em buracos negros 4-d
- Modelo Einstein-Dilaton e a fase deconfinada

Correspondência AdS/CFT ¹

- Teoria de Campo Conformal (CFT)

Correspondência AdS/CFT ¹

- Teoria de Campo Conformal (CFT)
- Cromodinâmica Quântica (QCD)

Correspondência AdS/CFT ¹

- Teoria de Campo Conformal (CFT)
- Cromodinâmica Quântica (QCD)
- Espaços-tempos Anti de-Sitter (AdS)/Teoria de Campo Conformal (CFT)

Correspondência AdS/CFT ¹

- Teoria de Campo Conformal (CFT)
- Cromodinâmica Quântica (QCD)
- Espaços-tempos Anti de-Sitter (AdS)/Teoria de Campo Conformal (CFT)

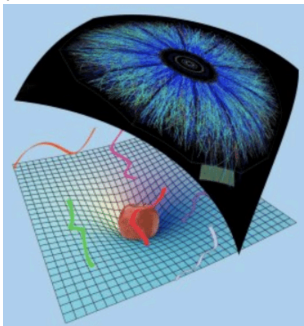


Figura 1: Representação da Correspondência AdS/CFT


Perturbações eletromagnéticas em buracos negros 4-d ¹

Temos uma metrica da forma

$$ds^2 = -f(r)dt^2 + f^{-1}(r)dr^2 + r^2(dx^2 + dy^2) \quad (1)$$


onde $f(r) = 1 - r_h^3/r^3$ e r_h é o horizonte de eventos.

- Buraco negro plano
- Quando $f(r) = 0$ ou seja $r = r_h$ estamos então no horizonte de eventos.
- Quando $r \rightarrow \infty$ então temos uma solução assintoticamente AdS.

¹Miranda A. Modos quase normais e a correspondência AdS/CFT (2008) 


Perturbações eletromagnéticas em buracos negros 4-d ¹

- Segun a correspondência AdS/CFT um buraco negro plano tem como teoria dual CFT a temperatura finita

¹Miranda A. Modos quase normais e a correspondência AdS/CFT (2008) 

Perturbações eletromagnéticas em buracos negros 4-d ¹

- Segun a correspondência AdS/CFT um buraco negro plano tem como teoria dual CFT a temperatura finita
- Vamos a analizar as perturbações eletromagnéticas na metrica de fundo (1) para obter os coeficientes de transporte

¹Miranda A. Modos quase normais e a correspondência AdS/CFT (2008) 


Ação para o campo eletromagnético ¹

Temos a ação para o campo electromagnético

$$S = k \int dx^4 \sqrt{-g} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} \quad (2)$$

onde

- $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$
- A_μ é o potencial vetor
- $\sqrt{-g} = r^2$

¹Miranda A. Modos quase normais e a correspondência AdS/CFT (2008) 

Equações de movimento

As equações de movimento para o campo

$$\partial_\nu(\sqrt{-g}g^{\mu\rho}g^{\nu\sigma}F_{\rho\sigma}) = 0 \quad (3)$$

A forma da equação de movimento e as simetrias do espaço-tempo de fundo, indica que o potencial vetor pode ser decomposto em componentes de Fourier

$$A_\mu(t, \vec{x}) = \int \frac{dk^3}{(2\pi)^3} e^{ik_0t + i\vec{k}\cdot\vec{x}} A_\mu(\omega, k, r) \quad (4)$$

Sem perda de generalidade, podemos escolher o vetor de onda $k = (-\omega, 0, q)$, tão que

- Perturbações pares (Longitudinais) A_r, A_y, A_t
- Perturbações impares (Transversais) A_x


Perturbações Pares ou longitudinais¹

- Fazendo uma mudança das variáveis A_t , A_y e A_x por componentes do campo elétrico, considerando quantidades que sejam invariantes de calibre

$$E_r = -\partial A_t / \partial r$$

$$E_x = \omega A_x$$

- Cardoso e Lemos (2001), mediante a definição de uma nova coordenada r_* tão que $dr_* = f(r)dr$ e a mudança das componentes do campo elétrico por Ψ^\pm obtemos

¹Miranda A. Modos quase normais e a correspondência AdS/CFT (2008) 

Perturbações Pares ou longitudinais¹

- Fazendo uma mudança das variáveis A_t , A_y e A_x por componentes do campo elétrico, considerando quantidades que sejam invariantes de calibre


$$E_r = -\partial A_t / \partial r$$

$$E_x = \omega A_x$$

- Cardoso e Lemos (2001), mediante a definição de uma nova coordenada r_* tão que $dr_* = f(r)dr$ e a mudança das componentes do campo elétrico por Ψ^\pm obtemos

$$\frac{d^2}{dr_*^2} \Psi^\pm + (\omega^2 - V^\pm) \Psi^\pm = 0 \quad (5)$$


onde $V^\pm = \frac{q^2 f(r)}{r^2}$.

¹Miranda A. Modos quase normais e a correspondência AdS/CFT (2008) 

Perturbações Impares ou Transversais¹

- Uma consequência desse resultado é que com as mesmas condições de contorno, o espectro das perturbações transversais e longitudinais são as mesmas.

O problema é definir essas condições de contorno

¹Miranda A. Modos quase normais e a correspondência AdS/CFT (2008) 


O limite hidrodinâmico¹

Na fronteira quando $r \rightarrow \infty$

- Não existem soluções $E_x(0) = 0$, mas na direção transversal não existe difusão.
- No caso de $E_y(0) = 0$ temos


$$w = -iq^2 \quad \rightarrow \quad \omega = -\frac{3i}{4\pi T} k^2 \quad (6)$$

onde se pode identificar o coeficiente de difusão $D = \frac{3}{4\pi T}$

¹Miranda A. Modos quase normais e a correspondência AdS/CFT (2008) 

O limite hidrodinâmico em CFT¹

Do lado CFT da correspondência, temos um plasma de partículas interagentes que sofrem excitações, o coeficiente de difusão encontrado na fronteira do espaço-tempo é interpretado como o tempo de relaxamento que leva ao sistema a um estado de equilíbrio termodinâmico.

¹Miranda A. Modos quase normais e a correspondência AdS/CFT (2008) 

Effective Holographic models for QCD at finite temperature and density¹

¹Ballon-Bayona A, e.t. Effective holographic models for QCD: glueball spectrum and trace anomaly (2017) [arXiv:1708.08968v2]

Effective Holographic models for QCD at finite temperature and density¹

- Vamos considerar uma ação Einstein-Dilaton 5-d

$$S = K \int d^5x \sqrt{-g} \left(R - \frac{4}{3} g^{mn} \partial_m \phi \partial_n \phi + V(\phi) \right) \quad (7)$$

com o dilaton $\phi = \phi(z)$. Vamos considerar uma metrica tipo buraco negro

$$ds^2 = \frac{1}{\zeta^2(z)} \left(-f(z) dt^2 + \frac{1}{f(z)} dz^2 + d\vec{x}^2 \right) \quad (8)$$

¹Ballon-Bayona A, e.t. Effective holographic models for QCD: glueball spectrum and trace anomaly (2017) [arXiv:1708.08968v2]

Effective Holographic models for QCD at finite temperature and density ¹

As equações de movimento são obtidas fazendo variações na métrica e o campo escalar ϕ , temos

$$\frac{4}{3\sqrt{-g}}\partial_p[\sqrt{-g}g^{mp}\partial_m\phi] + \frac{1}{2}\frac{dV(\phi)}{d\phi} = 0 \quad (9)$$

$$R_{mn} - \frac{1}{2}g_{mn}R = \frac{4}{3}\left(\partial_m\phi\partial_n\phi - \frac{1}{2}g_{mn}g^{pq}\partial_p\phi\partial_q\phi\right) + \frac{1}{2}g_{mn}V(\phi) \quad (10)$$

¹Ballon-Bayona A, e.t. Criticality from EMD holography at finite temperature and density (2020) [arXiv:2006.08810]

Effective Holographic models for QCD at finite temperature and density ¹

Das equações de movimento obtemos

$$\frac{\zeta''}{\zeta} - \frac{4}{9}\phi'^2 = 0 \quad (11)$$

$$3\zeta'' - 12\frac{\zeta'^2}{\zeta} + 3\frac{f'\zeta'}{f} + \frac{V}{\zeta f} = 0 \quad (12)$$

$$\frac{f''}{f} - 3\frac{\zeta'}{\zeta} = 0 \quad (13)$$

¹Ballon-Bayona A, e.t. Criticality from EMD holography at finite temperature and density (2020) [arXiv:2006.08810]

Effective Holographic models for QCD at finite temperature and density ¹

Para obter a solução da equação (11)

- Fixamos o perfil do dilaton fazendo $\phi(z) = kz^2$
- Condições de contorno:

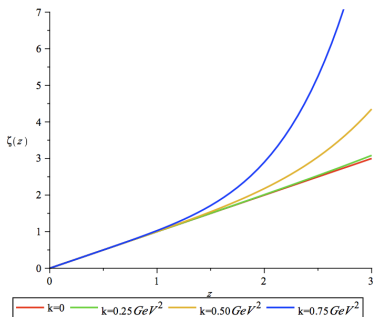
$$\lim_{z \rightarrow \infty} \zeta \rightarrow \infty \quad e \quad \lim_{z \rightarrow 0} \zeta \rightarrow z$$

¹Ballon-Bayona A, e.t. Criticality from EMD holography at finite temperature and density (2020) [arXiv:2006.08810]

Effective Holographic models for QCD at finite temperature and density ¹

- Obtemos a solução analítica

$$\zeta(z) = \Gamma\left(\frac{5}{4}\right) \left(\frac{3}{k}\right)^{1/4} \sqrt{z} I_{1/4}\left(\frac{2}{3}kz^2\right) \quad (14)$$



Effective Holographic models for QCD at finite temperature and density ¹

Estudo da termodinâmica

- A temperatura $T = \frac{|f'(z_h)|}{4\pi}$, onde $f(z)$ é a função horizonte avaliado no horizonte de eventos. Representa a fase de deconfinamento.
- A densidade de entropía $s = \frac{K}{T \int_0^{z_h} dz \zeta^3(z)}$
- A energia livre $\frac{d\mathcal{F}}{dT} = -s$

Effective Holographic models for QCD at finite temperature and density

Estudo das perturbações

- Quantidades invariantes de gauge
- Coeficientes de transporte

Obrigada!!!