Backreaction y multidefectos en mundos membrana

Dagoberto Malagón Morejón

ICF, UNAM

II Taller de Gravitación, Física de Altas Energías y Cosmología

Cuernavaca, Morelos, Agosto 2014

Características generales de los mundos membrana

1. Escenarios con dimensiones extra(no compactas).
2. Hipersuperficie 4D inmersa en un espacio–tiempo de mayor dimensión(bulto).
3. Una de las membranas representa nuestro universo.
4. La gravedad tiene acceso al bulto.
5. La materia ordinaria debe estar atrapada sobre la membrana.
6. La teoría efectiva asociada debe ser consistente con la física 4D estándar(GR y SM).
7. Gravitón no masivo localizado sobre la membrana.

Nuestro modelo

a) Membrana gruesa en bulto 5D con dimensión espacial extra no compacta.

b) Geometrías 5D deformadas(Warped geometries) con rebanadas 4D de tipo Minkowski.

c) La membrana está construida de campos escalares reales(multidefectos).

Qué estudiaremos?

- **Para un campo escalar de prueba: relación entre localización, masa y autogravedad.**
- **Propiedades de localización de los modos escalares.**
- **Multidefectos.**

Localización de materia y gravedad sobre la membrana

El mecanismo de localización: gravedad. El *campo gravitatorio que genera la membrana* atrae a la materia ordinaria.

Qué es la materia ordinaria en mundos membrana gruesos?

Campo fundamental Φ_5 sobre el bulto

$\downarrow$

Reducción dimensional

$\downarrow$

Observador 4D sobre la membrana, torre KK: $\{\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \ldots\} \equiv \Phi_5$.

Materia ordinaria φ_0: modo de baja energía de Φ_5.

Gravedad 4D: modos no masivos de las fluctuaciones de la métrica 5D.

Modelo

$$S_{single} = \int_{M_5} d^5x\sqrt{|g|}\left\{-\frac{1}{2\kappa}R + \frac{1}{2}(\nabla\varphi)^2 - V(\varphi)\right\}.$$

Convención:

$\mu, \nu = 0, 1....3,\ \ A, B = 0, 1....3, 5\,,\ \ \kappa \sim 1/M_*^3$, donde M_* es la masa de Planck 5D.
φ es un campo escalar sobre el bulto y $V(\varphi)$ es su potencial de autointeracción.
La signatura de la métrica es $+ - - - -$.

Geometría deformada en coordenadas conformes

$$ds^2 = g_{AB}dx^A dx^B = a^2(w)[\eta_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu - dw^2],$$

donde $a(w) =$ factor de deformación, $w \in (-\infty, \infty)$ es la coordenada extra y $\eta_{\mu\nu}$ es la métrica de Minkowski en 4D.

Localización de un campo escalar de prueba

Cuales son las características generales del perfil de $a(w)$?

Regularidad de la geometría, localización del gavitón no masivo y masa de Planck 4D finita implica que $a(w \to \infty) \sim \frac{1}{|w|^\gamma}$ con $1/3 < \gamma \leq 1$.

Campo escalar no gravitante

$$S_\phi = \int_{M_5} d^5x \sqrt{|g|} \left\{ \frac{1}{2}(\nabla\phi)^2 - U(\phi) \right\}.$$

Observador 5D: $\Box^{(5)}\phi + \frac{\partial U(\phi)}{\partial \phi} = 0,$ donde $U(\phi) = \frac{1}{2} m_5^2 \phi^2.$

Separación de variables $\phi(x,w) = a(w)^{-3/2} f(w) \varepsilon(x)$

$$\Box^\eta \epsilon_m + m^2 \epsilon_m = 0, \quad \text{torre KK},$$

$$-f''_m + V_{Sch}(w)\, f_m = m^2 f_m, \quad \text{perfil 5D}.$$

Con $V_{Sch} = \frac{9}{4}\mathcal{H}^2 + \frac{3}{2}\mathcal{H}' + m_5^2 a^2$. La norma $\langle f_m | f_m \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f_m^2 dw$.

$f(w)$ propiedades de localización del campo $\varepsilon(x)$.

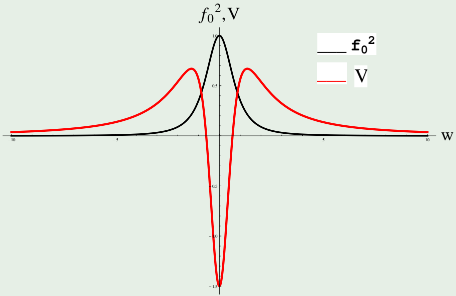
Localización de $f_0 \to V_{Sch}$ debe ser un pozo de potencial.

Caso con $m_5 = 0$

Cuando $m_5 = 0$, se tiene que $f_0^2 \sim a^3$. Condiciones de consistencia $\rightarrow$ modo cero localizado.

Ejemplo con $m_5 = 0$

Factor de deformación: $a = \frac{1}{\sqrt{1+(bw)^2}}$, donde b es el ancho de la membrana.

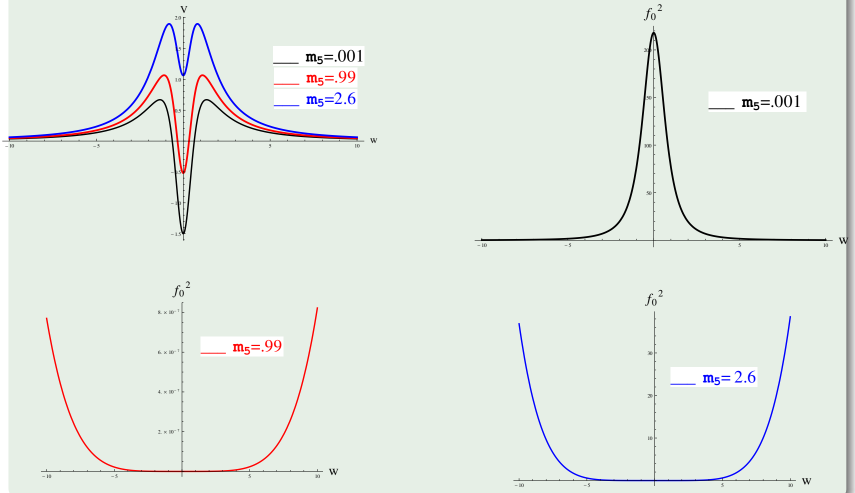


Cuales son las propiedades de localización de ϕ cuando $m_5 \neq 0$?

Caso con $m_5 \neq 0$

Ejemplo con $m_5 \neq 0$

$$a = \frac{1}{\sqrt{1+(bw)^2}},$$



Existe un m_5^{umb}: $m_5 > m_5^{umb} \rightarrow f_0$ se deslocaliza. Este comportamiento se mantiene en dS_4(plática de Refugio Rigel).

Propiedades de localización de ϕ gravitante?

Orden de magnitud de m_5^{umb} para una membrana de ancho b.

Si $V_{Sch}(0) \geq 0$ el potencial es una barrera de potencial $\rightarrow f_0$ deslocalizado.

$$\downarrow$$

$$m_5^{umb} \sim b.$$

Teoría fundamental de 5D no tiene jerarquías, $b \sim M_*$.

Cuando $m_5 \approx M_* \rightarrow \phi$ gravita.

$$\downarrow$$

Sugiere que el modo cero de un campo escalar que gravita está deslocalizado de la membrana.

Fluctuaciones de la métrica

$$ds_p^2 = \left[a^2(w)\eta_{AB} + H_{AB}(x,w)\right] dx^A dx^B.$$

Fluctuaciones del campo escalar

$$\varphi_p = \varphi + \chi(x,w).$$

Linearización de las ecuaciones de Einstein y Klein–Gordon.

Modos escalares: uno geométrico $\psi = \xi/2$ y uno de materia χ.

En la norma longitudinal

$$\Phi'' - \Box^\eta \Phi - z\left(\frac{1}{z}\right)''\Phi = 0, \quad \text{donde} \quad \Phi = \frac{a^{3/2}}{\varphi'}\psi \quad \text{y} \quad z = \frac{a^{3/2}\varphi'}{\mathcal{H}},$$

$$\mathcal{G}'' - \Box^\eta \mathcal{G} - \frac{z''}{z}\mathcal{G} = 0, \quad \text{con} \quad \mathcal{G} = a^{3/2}\chi - z\psi.$$

Potencial de Schrodinger

$$V_{\mathcal{G}} = \frac{z''}{z} = \frac{(a^{3/2})''}{a^{3/2}} + a^2\frac{\partial^2 W}{\partial\varphi^2} - \frac{2\kappa}{3\mathcal{H}^2}\mathcal{H}'\varphi'^2 + \frac{4}{3}\kappa\frac{\varphi'\varphi''}{\mathcal{H}} + 2\kappa\varphi'^2.$$

Modos cero

$$\langle \Phi_0 | \Phi_0 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_0^2 dw = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{z^2} dw.$$
$$\langle \mathcal{G}_0 | \mathcal{G}_0 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{G}_0^2 dw = \int_{-\infty}^{\infty} z^2 dw.$$

Condiciones de consistencia $a(w \to \infty) \simeq \frac{1}{|w|^\gamma}$, con $1/3 < \gamma \leq 1$.

$$\downarrow$$

$$\frac{1}{z^2}(w \to \infty) \sim \frac{1}{a^3} \to \infty.$$

Regularidad de la geometría.

$$\downarrow$$

$z^2(w \to 0) \sim w^{-2\alpha}$ y $V_{\mathcal{G}}(w \to 0) \sim \frac{\alpha(\alpha+1)}{w^2}$, con $\alpha \geq 1$.

Los modos escalares asociados a la materia gravitante están deslocalizados de la membrana.

Resultado robusto: Acoplamiento no mínimo y/o Gauss–Bonnet.

Mundo membrana con dos campos escalares

Acción (M. Giovannini, Phys. Rev. D75 (2007) 064023)

$$S_{\rm two} = \int_{M_5} d^5x\sqrt{|g|}\left[-\frac{R}{2\kappa} + \frac{1}{2}(\nabla\varphi)^2 + \frac{1}{2}(\nabla\sigma)^2 - W(\varphi,\sigma)\right],$$

Propiedades de localización de φ y σ.

$$\mathcal{G} = a^{3/2}\delta\varphi - z_\varphi\psi, \quad \text{donde} \quad z_\varphi = \frac{a^{3/2}\varphi'}{\mathcal{H}},$$

$$\mathcal{F} = a^{3/2}\delta\sigma - z_\sigma\psi, \quad \text{donde} \quad z_\sigma = \frac{a^{3/2}\sigma'}{\mathcal{H}}.$$

Definiendo

$$\mathcal{L} = \begin{pmatrix} \mathcal{G} \\ \mathcal{F} \end{pmatrix}, \qquad \mathcal{M} = \begin{pmatrix} \mathcal{M}_{\mathcal{G}\mathcal{G}} & \mathcal{M}_{\mathcal{G}\mathcal{F}} \\ \mathcal{M}_{\mathcal{G}\mathcal{F}} & \mathcal{M}_{\mathcal{F}\mathcal{F}} \end{pmatrix}$$

Ecuación para los modos escalares

$$-\mathcal{L}'' + \mathcal{M}\mathcal{L} = m^2\mathcal{L}.$$

Donde

$$\mathcal{M}_{\mathcal{G}\mathcal{G}} = \frac{(a^{3/2})''}{a^{3/2}} + a^2 \frac{\partial^2 W}{\partial \varphi^2} - \frac{2\kappa}{3\mathcal{H}^2}\mathcal{H}'\varphi'^2 + \frac{4}{3}\kappa\frac{\varphi'\varphi''}{\mathcal{H}} + 2\kappa\varphi'^2,$$
$$\mathcal{M}_{\mathcal{F}\mathcal{F}} = \mathcal{M}_{\mathcal{G}\mathcal{G}}(\varphi \to \sigma),$$
$$\mathcal{M}_{\mathcal{F}\mathcal{G}} = \mathcal{M}_{\mathcal{G}\mathcal{F}} = \frac{\partial^2 W}{\partial\varphi\partial\sigma}a^2 - \frac{2\kappa\mathcal{H}'}{3\mathcal{H}^2}\varphi'\sigma' + \frac{2\kappa}{3\mathcal{H}}(\varphi'\sigma'' + \sigma'\varphi'') + 2\kappa\varphi'\sigma'.$$

Solución particular

Factor de deformación: $a = \frac{1}{\sqrt{1+(bw)^2}}$.

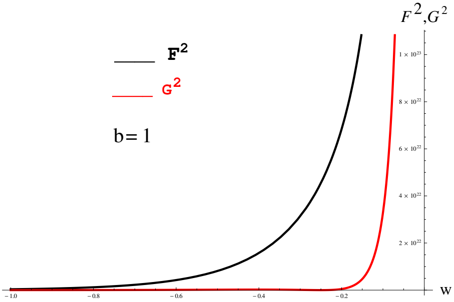
Perfil de los campos escalares

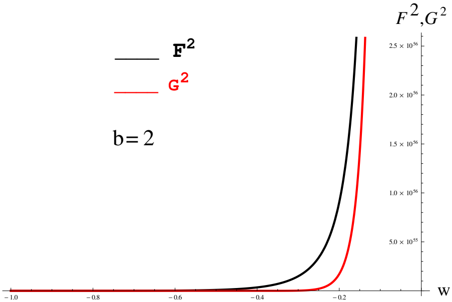
$\varphi \sim \sqrt{1+g(w)}$ y $\sigma \sim \sqrt{1-g(w)}$, donde $g(w) = \pm\frac{bw}{\sqrt{1+(bw)^2}}$.

Norma de las fluctuaciones

$\{\int_{-\infty}^{+\infty} |\mathcal{G}_0(w)|^2\, dw, \quad \int_{-\infty}^{+\infty} |\mathcal{F}_0(w)|^2\, dw\} < \infty.$

Función de onda del modo cero$(w < 0)$





$\mathcal{F}_0$ y $\mathcal{G}_0$ son divergentes en $w = 0$.

Modo cero deslocalizado.

Conclusiones

- Existe una m_5^{umb} para la masa de un campo escalar de prueba, si $m_5 > m_5^{umb}$ el modo cero esta deslocalizado.
- El modo cero de un campo escalar gravitante se deslocaliza de la membrana.
- Esta última propiedad es robusta.
- En progreso: varias membranas anchas.

Gracias