# Embedding de dos branas $dS_4$ en un escenario de Randall-Sundrum generalizado.

(basado en arXiv:1212.0811 [gr-qc] )

Milko Estrada

(trabajo realizado con Rodrigo Aros)

Universidad Andrés Bello

CosmoConce III

UBB, Marzo del 2013

# Contenidos

1. Motivación .
2. Modelo de Randall y Sundrum .
3. Embedding de dos branas $dS_4$ en un espacio-tiempo $(A)dS_5$ .
4. Conclusiones.

# Motivación

- Las masas de las partículas son ligeras respecto a la masa de Planck.

# Motivación

- Las masas de las partículas son ligeras respecto a la masa de Planck. $\Rightarrow$ posee un alto valor.

# Motivación

- Las masas de las partículas son ligeras respecto a la masa de Planck. $\Rightarrow$ posee un alto valor.
- La masa de Planck es inversamente proporcional a la constante de Newton

# Motivación

- Las masas de las partículas son ligeras respecto a la masa de Planck. $\Rightarrow$ posee un alto valor.
- La masa de Planck es inversamente proporcional a la constante de Newton $\Rightarrow$ Comprensible, ya que la gravedad es más débil que las demás interacciones.

# Motivación

- Las masas de las partículas son ligeras respecto a la masa de Planck. $\Rightarrow$ posee un alto valor.
- La masa de Planck es inversamente proporcional a la constante de Newton $\Rightarrow$ Comprensible, ya que la gravedad es más débil que las demás interacciones.
- La física actual no logra explicar la enorme diferencia entre las masas de Higgs $m_H \approx 1\,TeV$, y de Planck $m_P \approx 10^{19}\,GeV$

# Introducción

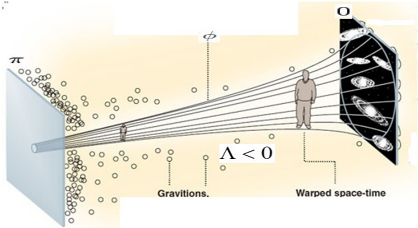
Surgen modelos con dimensiones extras como candidatos a solucionar estos últimos problemas.

# Introducción

Surgen modelos con dimensiones extras como candidatos a solucionar estos últimos problemas.

- Aparecen los mundos brana, donde nuestro universo es una 3-brana inmersa en un espacio tiempo de más de 4 dimensiones.

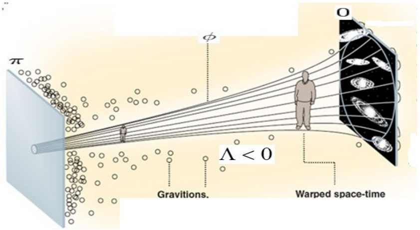
# Modelo de Randall y Sundrum




$$ds^2 = e^{-2kr|\phi|}\eta_{uv}dx^u dx^v + r^2 d\phi^2. \qquad (1)$$

- Las cosas se ven exponencialmente más pequeñas a medida que nos alejamos de nuestra brana universo.
- Partículas elementales quedan atrapadas en nuestro universo.

# Modelo de Randall y Sundrum




- Según la teoría de cuerdas, cuerdas abiertas dan origen a la materia y cuerdas cerradas al gravitón.
- Cuerdas abiertas tienen sus extremos en una brana. El gravitón se propaga en todo el espacio-tiempo.

# Modelo de Randall y Sundrum

- La gravedad se hace mas débil en nuestra brana respecto a las demás interacciones.
- Además, este modelo propone que la masa del Higgs es de $1\,TeV$ debido al *warp factor* :

$$m_{\phi=0} = e^{-kr\pi} m_{\phi=\pi}, \qquad (2)$$

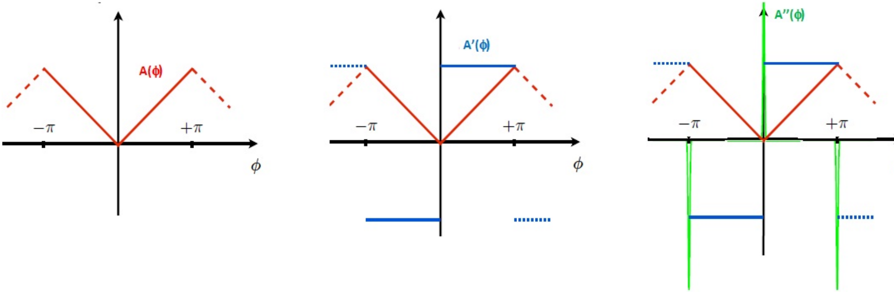
considerando $m_{\phi=\pi} \approx m_{Planck} \approx 10^{19}\,GeV$ y $e^{kr\pi} \approx 10^{15} \rightarrow m_{\phi=0} \approx 1\,TeV$.

# Modelo de Randall y Sundrum

- El elemento de línea es :

$$ds^2 = e^{-2A(\phi)}\eta_{uv}dx^u dx^v + r^2 d\phi^2, \tag{3}$$

donde el factor $A(\phi) = kr|\phi|$ .



# Modelo de Randall y Sundrum

- Ambas branas poseen tensiones de igual magnitud pero signo contrario .

$$T_1 = -T_2 = 24 M_5^3 k. \tag{4}$$

# Modelo de Randall y Sundrum

- Ambas branas poseen tensiones de igual magnitud pero signo contrario .

$$T_1 = -T_2 = 24M_5^3 k. \tag{4}$$

- Este modelo propone la siguiente relación entre las escalas de Planck $4D$ y $5D$:

$$M_4^2 = \frac{M_5^3}{k}(1 - e^{-2kr\pi}). \tag{5}$$

con valores pequeños de $r$ (pero $kr >> 1$) y $k \approx M_4$ se obtiene $M_4 \approx M_5$.

# Embedding de 2 branas $dS_4$ es un espacio-tiempo (A)dS$_5$.

- Se usará el mismo embedding y la misma configuración del espacio-tiempo que en RS.
- El elemento de usado es:

$$ds_5^2 = e^{-2A(\phi)}\frac{L^2}{t^2}\eta_{uv}dx^u dx^v + r^2 d\phi^2, \qquad (6)$$

- Se analizarán los casos donde $\Lambda = \pm\frac{6}{l^2}$ y el límite $\Lambda \to 0$ .

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

Objetivos:

- Mostrar nuevos deformamientos .

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

Objetivos:

- Mostrar nuevos deformamientos .
- Obtener nuevas expresiones para las tensiones y, explorar posibles casos donde $T_2$ posee signo positivo.

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

Objetivos:

- Mostrar nuevos deformamientos .
- Obtener nuevas expresiones para las tensiones y, explorar posibles casos donde $T_2$ posee signo positivo.
- Encontrar nuevas relaciones entre las constantes de acoplamineto $\kappa_4$ (4D)y $\kappa_5$ (5D), que permitan que las constantes de Planck $M_4 \approx M_5$.

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

Objetivos:

- Mostrar nuevos deformamientos .
- Obtener nuevas expresiones para las tensiones y, explorar posibles casos donde $T_2$ posee signo positivo.
- Encontrar nuevas relaciones entre las constantes de acoplamineto $\kappa_4$ (4D)y $\kappa_5$ (5D), que permitan que las constantes de Planck $M_4 \approx M_5$.
- Encontrar nuevas relaciones que permitan observar una masa de Higgs en nuestro universo a partir de una masa de Planck en la brana fuerte.

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

- La acción usada es:

$$S = \frac{1}{2\kappa_5^2}\int dx^5\sqrt{-g}\left[R^{(5D)} - 2\Lambda_{5D}\right] - T_1\int d^4\sigma\sqrt{-h_0} - T_2\int d^4\sigma\sqrt{-h_\pi}. \tag{7}$$

- La ecuación de Einstein queda:

$$G_{MN} + \Lambda_{5D}g_{MN} = -\kappa_5^2\Big[T_1\sqrt{\frac{h^0}{g}}h^0_{uv}\delta^u_M\delta^v_N\delta(\phi) + T_2\sqrt{\frac{h^\pi}{g}}h^\pi_{uv}\delta^u_M\delta^v_N\delta(\phi-\pi)\Big] \tag{8}$$

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

- Para encontrar el *warp factor* $A(\phi)$ se resuelve la ecuación de Einstein.
- Para calcular las tensiones se integra la componente $(u, v)$ de la ecuación de Einstein en las vecindades de ambas branas.

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

- Para buscar una relación entre constantes de acoplamiento se usa la acción efectiva :

$$S_{eff} = \frac{r}{\kappa_5^2} \int_{-\pi}^{\pi} d\phi e^{-2A} \int d^4\sigma \sqrt{g^{(4D)}} R^{(4D)}, \tag{9}$$

la que al igualarla con la acción $4D$ :

$$\frac{r}{\kappa_5^2} \int_{-\pi}^{\pi} d\phi e^{-2A} = \frac{1}{\kappa_4^2}. \tag{10}$$

, donde $\kappa_{4+n}^2 = \frac{8\pi}{M_{4+n}^{2+n}}$ .

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

- Para buscar buscar relación de masas, se usa acción para un campo de Higgs en la brana fuerte

$$S_\pi \subset \int d^4x \sqrt{-h_\pi}\left[h_\pi^{uv} D_u H^\dagger D_v H - \lambda(|H|^2 - v_\pi^2)^2\right], \quad (11)$$

usando $H \to e^{A(\pi)} H$:

$$S_{eff} \subset \int d^4x \sqrt{-g(\sigma^u)}\Big[g^{uv}(\sigma^u) D_u H^\dagger D_v H$$
$$- \lambda(|H|^2 - e^{-2A(\pi)} v_\pi^2)^2\Big], \Rightarrow v \equiv e^{-A(\pi)} v_\pi \qquad (12)$$

$$\Rightarrow m_{\phi=0} \equiv e^{-A(\pi)} m_{\phi=\pi}$$

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

- Para buscar buscar relación de masas, se usa acción para un campo de Higgs en la brana fuerte

$$S_\pi \subset \int d^4x\sqrt{-h_\pi}\left[h_\pi^{uv}D_uH^\dagger D_vH - \lambda(|H|^2 - v_\pi^2)^2\right], \quad (11)$$

usando $H \to e^{A(\pi)}H$:

$$S_{eff} \subset \int d^4x\sqrt{-g(\sigma^u)}\Big[g^{uv}(\sigma^u)D_uH^\dagger D_vH - \lambda(|H|^2 - e^{-2A(\pi)}v_\pi^2)^2\Big], \Rightarrow v \equiv e^{-A(\pi)}v_\pi \quad (12)$$

$$\Rightarrow m_{\phi=0} \equiv e^{-A(\pi)}m_{\phi=\pi}$$

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

- Se usarán valores pequeños para el radio de compactificación .
- $\Lambda_{4D} = \frac{3}{L^2} \approx 10^{-122} l_p^{-2} \Rightarrow L \approx 10^{61} l_p$
- $M_4 \approx M_{Planck} = 10^{19} GeV \Rightarrow \kappa_4^2 \approx 10^{-38} GeV^{-2}$

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

## Caso $\Lambda \to 0$ :

$$ds^2 = \Big(|\phi| - C\Big)^2 \frac{r^2}{t^2}\eta_{uv}dx^u dx^v + r^2 d\phi^2, \qquad (13)$$

- Arbitrariamente $C \approx 5 \cdot 10^{44}$ y $r \approx 2l_p$.
- La relación de masas es:

$$m_{\phi=0} = \left|\frac{r}{L}\Big(\pi - C\Big)\right| m_{\phi=\pi}. \qquad (14)$$

- Se logra una masa de Higgs en nuestra brana $(\phi = 0)$ desde una masa de Planck en la brana fuerte.

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

## Caso $\Lambda \to 0$ :

- Las tensiones $T_1$ (en nuestro universo) y $T_2$ tienen signos positivo y negativo, respectivamente:

$$T_1 = \frac{6}{\kappa_5^2 rC} \qquad , T_2 = \frac{6}{\kappa_5^2 r(\pi - C)} \tag{15}$$

- La relación entre constantes de Planck es $10^{-10} M_5 \approx M_4$.

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

## Caso $\Lambda < 0$ :

- El elemento de línea es :

$$ds^2 = \sinh^2\left(\frac{r}{l}|\phi| - C\right)\frac{l^2}{t^2}\eta_{uv}dx^u dx^v + r^2 d\phi^2, \qquad (16)$$

con $C = \sinh^{-1}(\frac{E}{l})$ .

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

## Caso $\Lambda < 0$ :

- El elemento de línea es :

$$ds^2 = \sinh^2\left(\frac{r}{l}|\phi| - C\right)\frac{l^2}{t^2}\eta_{uv}dx^u dx^v + r^2 d\phi^2, \qquad (16)$$

con $C = \sinh^{-1}(\frac{E}{l})$ .

- La relación de masas es:

$$m_{\phi=0} = \left|\left(\frac{l}{L}\right)\sinh\left(\frac{r}{l}\pi - C\right)\right| m_{\phi=\pi}, \qquad (17)$$

- Se logra una masa de Higgs en nuestro universo con $l \approx l_p$, $E \approx 10^{61} l_p$ y $r = 78{,}133 l_p$.

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

## Caso $\Lambda < 0$ :

- Las tensiones son ambas positivas:

$$T_1 = \frac{6}{\kappa_5^2 E} \cosh\left( \sinh^{-1}\left(\frac{E}{l}\right)\right) \tag{18}$$

$$T_2 = \frac{6}{\kappa_5^2 l} \coth\left(\frac{r\pi}{l} - \sinh^{-1}\left(\frac{E}{l}\right)\right). \tag{19}$$

- Resulta complejo ajustar constantes para encontrar relación entre $M_4$ y $M_5$

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

## Caso $\Lambda > 0$ :

- Elemento de línea

$$ds^2 = \sin^2\left(\frac{r}{l}|\phi| \pm C\right)\frac{l^2}{t^2}\eta_{uv}dx^u dx^v + r^2 d\phi^2. \qquad (20)$$

- La relación de masas es:

$$m_{\phi=0} = \left|\left(\frac{l}{L}\right)\sin\left(\frac{r}{l}\pi \pm C\right)\right| m_{\phi=\pi}. \qquad (21)$$

- Para $r \approx 6l_p$, $l \approx 10^{61}l_p$ y $C = \mp\frac{\pi r}{l} \mp \sin^{-1}\left(\frac{10^{45}l_p}{l}\right)$ se obtiene una masa de Higgs.

# Embedding de 2 branas $dS_4$ en $5D$.

## Caso $\Lambda > 0$ :

- Con estos valores $T_1$ es positiva tal que $T_1 \approx -T_2$:

$$T_1 = \mp \frac{6}{\kappa_5^2 l} \cot\left(C\right) \qquad , T_2 = \frac{6}{\kappa_5^2 l} \cot\left(\frac{r\pi}{l} \pm C\right). \quad (22)$$

- La relación entre constantes de Planck es $M_4 \approx 3{,}42 M_5$.

# Conclusiones.

- En los 3 casos se encuentran nuevas relaciones de masas que permiten observar una masa de Higgs en nuestro universo.
- Para $\Lambda < 0$ se obtiene un modelo donde ambas branas poseen tensión de signo positivo.
- Para $\Lambda > 0$ se obtiene un modelo donde $M_4 \approx M_5$