

Teorie con dimensioni extra

Stefano Storage

New York University

19 Dicembre, 2012

- 1 Fondamenti di relatività generale
- 2 Dimensioni extra: dagli anni '20 a oggi
 - Unificazione delle forze fondamentali
 - Il problema della gerarchia
- 3 $dS_4 \times M$
 - Perché de Sitter?
 - Azione effettiva: il radione
 - Stabilizzazione del potenziale del radione
- 4 Stabilità lineare
- 5 Conclusioni e prospettive

L'azione di Einstein-Hilbert

L'azione di Einstein-Hilbert

- Einstein (1916): gravità \leftrightarrow geometria dello spazio-tempo

L'azione di Einstein-Hilbert

- Einstein (1916): gravità \leftrightarrow geometria dello spazio-tempo
 - Tensore metrico: $ds^2 = g_{\mu\nu}(x)dx^\mu dx^\nu$ ($\mu, \nu = 0, 1, 2, 3$)

L'azione di Einstein-Hilbert

- Einstein (1916): gravità \leftrightarrow geometria dello spazio-tempo
 - Tensore metrico: $ds^2 = g_{\mu\nu}(x) dx^\mu dx^\nu$ ($\mu, \nu = 0, 1, 2, 3$)
 - Equazioni di Einstein: $G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G_N T_{\mu\nu}$

L'azione di Einstein-Hilbert

- Einstein (1916): gravità \leftrightarrow geometria dello spazio-tempo
 - Tensore metrico: $ds^2 = g_{\mu\nu}(x)dx^\mu dx^\nu$ ($\mu, \nu = 0, 1, 2, 3$)
 - Equazioni di Einstein: $G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G_N T_{\mu\nu}$
- Azione di Einstein-Hilbert: $S_{EH} = \frac{M_P^2}{2} \int d^4x \sqrt{-g} (R(x) + 2\Lambda)$

L'azione di Einstein-Hilbert

- Einstein (1916): gravità \leftrightarrow geometria dello spazio-tempo
 - Tensore metrico: $ds^2 = g_{\mu\nu}(x)dx^\mu dx^\nu$ ($\mu, \nu = 0, 1, 2, 3$)
 - Equazioni di Einstein: $G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G_N T_{\mu\nu}$
- Azione di Einstein-Hilbert: $S_{EH} = \frac{M_P^2}{2} \int d^4x \sqrt{-g}(R(x) + 2\Lambda)$
- Azione completa: $S = S_{EH} + S_{materia}$

L'azione di Einstein-Hilbert

- Einstein (1916): gravità \leftrightarrow geometria dello spazio-tempo
 - Tensore metrico: $ds^2 = g_{\mu\nu}(x)dx^\mu dx^\nu$ ($\mu, \nu = 0, 1, 2, 3$)
 - Equazioni di Einstein: $G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G_N T_{\mu\nu}$
- Azione di Einstein-Hilbert: $S_{EH} = \frac{M_P^2}{2} \int d^4x \sqrt{-g}(R(x) + 2\Lambda)$
- Azione completa: $S = S_{EH} + S_{materia}$
- Generalizzabile in D dimensioni: $S_{EH}^{(D)} + S_{materia}^{(D)}$

Unificazione delle forze fondamentali

Kaluza(1921), Klein (1927)

Unificazione delle forze fondamentali

Kaluza(1921), Klein (1927)

- L'idea: unificare gravità ed elettromagnetismo

Unificazione delle forze fondamentali

Kaluza(1921), Klein (1927)

- L'idea: unificare gravità ed elettromagnetismo
- In 5 dimensioni: $G_{AB} \rightarrow g_{\mu\nu}, g_{\mu 5}, g_{55}$

Unificazione delle forze fondamentali

Kaluza(1921), Klein (1927)

- L'idea: unificare gravità ed elettromagnetismo
- In 5 dimensioni: $G_{AB} \rightarrow g_{\mu\nu}, g_{\mu 5}, g_{55}$
- Compattificazione: $S_{EH}^{(5)} \rightarrow S_{EH}^{(4)}(g_{\mu\nu}) + S_{Maxwell}^{(4)}(g_{\mu 5})$

Unificazione delle forze fondamentali

Kaluza(1921), Klein (1927)

- L'idea: unificare gravità ed elettromagnetismo
- In 5 dimensioni: $G_{AB} \rightarrow g_{\mu\nu}, g_{\mu 5}, g_{55}$
- Compattificazione: $S_{EH}^{(5)} \rightarrow S_{EH}^{(4)}(g_{\mu\nu}) + S_{Maxwell}^{(4)}(g_{\mu 5})$
- Problemi:

Unificazione delle forze fondamentali

Kaluza(1921), Klein (1927)

- L'idea: unificare gravità ed elettromagnetismo
- In 5 dimensioni: $G_{AB} \rightarrow g_{\mu\nu}, g_{\mu 5}, g_{55}$
- Compattificazione: $S_{EH}^{(5)} \rightarrow S_{EH}^{(4)}(g_{\mu\nu}) + S_{Maxwell}^{(4)}(g_{\mu 5})$
- Problemi:
 - g_{55} ?

Unificazione delle forze fondamentali

Kaluza(1921), Klein (1927)

- L'idea: unificare gravità ed elettromagnetismo
- In 5 dimensioni: $G_{AB} \rightarrow g_{\mu\nu}, g_{\mu 5}, g_{55}$
- Compattificazione: $S_{EH}^{(5)} \rightarrow S_{EH}^{(4)}(g_{\mu\nu}) + S_{Maxwell}^{(4)}(g_{\mu 5})$
- Problemi:
 - g_{55} ?
 - Fermioni?

Unificazione delle forze fondamentali

Teoria delle stringhe

Unificazione delle forze fondamentali

Teoria delle stringhe

- Descrizione degli adroni (anni '60)

Unificazione delle forze fondamentali

Teoria delle stringhe

- Descrizione degli adroni (anni '60)
- Stringa bosonica: $D=26$

Unificazione delle forze fondamentali

Teoria delle stringhe

- Descrizione degli adroni (anni '60)
- Stringa bosonica: $D=26$
- Superstringa: $D=10$

Unificazione delle forze fondamentali

Teoria delle stringhe

- Descrizione degli adroni (anni '60)
- Stringa bosonica: $D=26$
- Superstringa: $D=10$
- Unificazione delle forze fondamentali (anni '80)

Unificazione delle forze fondamentali

Teoria delle stringhe

- Descrizione degli adroni (anni '60)
- Stringa bosonica: $D=26$
- Superstringa: $D=10$
- Unificazione delle forze fondamentali (anni '80)
- Per ridurre D alle 4 osservate: compattificazione e Kaluza Klein

Il problema della gerarchia

Modello Standard: invarianza di gauge e meccanismo di Higgs

Il problema della gerarchia

Modello Standard: invarianza di gauge e meccanismo di Higgs

- Correzioni radiative alla massa dell'Higgs $M_H \sim \Lambda^2$
(Λ =cutoff)

Il problema della gerarchia

Modello Standard: invarianza di gauge e meccanismo di Higgs

- Correzioni radiative alla massa dell'Higgs $M_H \sim \Lambda^2$
(Λ =cutoff)
- Cutoff naturale per una teoria quantistica $\sim M_p \simeq 10^{19} \text{ GeV}$

Il problema della gerarchia

Modello Standard: invarianza di gauge e meccanismo di Higgs

- Correzioni radiative alla massa dell'Higgs $M_H \sim \Lambda^2$
(Λ =cutoff)
- Cutoff naturale per una teoria quantistica $\sim M_p \simeq 10^{19} \text{ GeV}$
- ATLAS, CMS (4 luglio 2012): $M_H \sim 125 \text{ GeV}$

Il problema della gerarchia

Modello Standard: invarianza di gauge e meccanismo di Higgs

- Correzioni radiative alla massa dell'Higgs $M_H \sim \Lambda^2$
(Λ =cutoff)
- Cutoff naturale per una teoria quantistica $\sim M_p \simeq 10^{19} \text{ GeV}$
- ATLAS, CMS (4 luglio 2012): $M_H \sim 125 \text{ GeV}$
- 16 ordini di grandezza inferiore!

Il problema della gerarchia

Arkani-Ahmed, Dimopoulos, Dvali (ADD) (1998):

Il problema della gerarchia

Arkani-Ahmed, Dimopoulos, Dvali (ADD) (1998):

- Spazio-tempo con p dimensioni extra

Il problema della gerarchia

Arkani-Ahmed, Dimopoulos, Dvali (ADD) (1998):

- Spazio-tempo con p dimensioni extra
- Gravità estesa a tutto lo spazio

Il problema della gerarchia

Arkani-Ahmed, Dimopoulos, Dvali (ADD) (1998):

- Spazio-tempo con p dimensioni extra
- Gravità estesa a tutto lo spazio
- Modello standard ristretto solo a un iperpiano 4-dimensionale (brana)

Il problema della gerarchia

Arkani-Ahmed, Dimopoulos, Dvali (ADD) (1998):

- Spazio-tempo con p dimensioni extra
- Gravità estesa a tutto lo spazio
- Modello standard ristretto solo a un iperpiano 4-dimensionale (brana)

Dalla riduzione $S_{EH}^{(4+p)} \rightarrow S_{EH}^{(4)}$, $M_{Planck}^2 = M^{2+p} \cdot Vol^{(p)}$

Il problema della gerarchia

Arkani-Ahmed, Dimopoulos, Dvali (ADD) (1998):

- Spazio-tempo con p dimensioni extra
- Gravità estesa a tutto lo spazio
- Modello standard ristretto solo a un iperpiano 4-dimensionale (brana)

Dalla riduzione $S_{EH}^{(4+p)} \rightarrow S_{EH}^{(4)}$, $M_{Planck}^2 = M^{2+p} \cdot Vol^{(p)}$

- \Rightarrow Scala di Planck ricondotta a scala elettrodebole

Il problema della gerarchia

Arkani-Ahmed, Dimopoulos, Dvali (ADD) (1998):

- Spazio-tempo con p dimensioni extra
- Gravità estesa a tutto lo spazio
- Modello standard ristretto solo a un iperpiano 4-dimensionale (brana)

Dalla riduzione $S_{EH}^{(4+p)} \rightarrow S_{EH}^{(4)}$, $M_{Planck}^2 = M^{2+p} \cdot Vol^{(p)}$

- \Rightarrow Scala di Planck ricondotta a scala elettrodebole
- $p = 1 \leftrightarrow R \simeq 10^{10} Km \Rightarrow$ escluso

Il problema della gerarchia

Arkani-Ahmed, Dimopoulos, Dvali (ADD) (1998):

- Spazio-tempo con p dimensioni extra
- Gravità estesa a tutto lo spazio
- Modello standard ristretto solo a un iperpiano 4-dimensionale (brana)

Dalla riduzione $S_{EH}^{(4+p)} \rightarrow S_{EH}^{(4)}$, $M_{Planck}^2 = M^{2+p} \cdot Vol^{(p)}$

- \Rightarrow Scala di Planck ricondotta a scala elettrodebole
- $p = 1 \Leftrightarrow R \simeq 10^{10} Km \Rightarrow$ escluso
- $p = 2 \Leftrightarrow R \simeq mm$. Appena sotto l'attuale precisione per i test sulla gravità

Il problema della gerarchia

Randall, Sundrum (RS) (1999):

Il problema della gerarchia

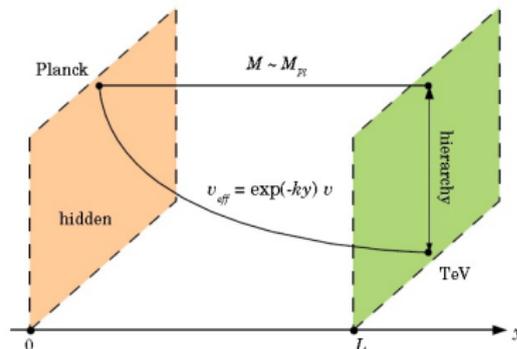
Randall, Sundrum (RS) (1999):

- Warped geometry: $ds^2 = f(y) * g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu + dy^2$ ($0 \leq y \leq L$)

Il problema della gerarchia

Randall, Sundrum (RS) (1999):

- Warped geometry: $ds^2 = f(y) * g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu + dy^2$ ($0 \leq y \leq L$)
- Scala elettrodebole ricondotta a scala di Planck:



Domande senza risposta

Domande senza risposta

- Perché vediamo solo quattro dimensioni?

Domande senza risposta

- Perché vediamo solo quattro dimensioni?
- Come giustificare la stabilità delle dimensioni extra?

Domande senza risposta

- Perché vediamo solo quattro dimensioni?
- Come giustificare la stabilità delle dimensioni extra?
- È possibile stabilire un limite sulla loro lunghezza?

Domande senza risposta

- Perché vediamo solo quattro dimensioni?
- Come giustificare la stabilità delle dimensioni extra?
- È possibile stabilire un limite sulla loro lunghezza?
- D'Amico, Gobbetti, Kleban, Schillo: “Unwinding inflation”

La geometria: $dS_4 \times M$

La geometria: $dS_4 \times M$

- M = varietà compatta (circonferenza, sfera, ipersfera)

La geometria: $dS_4 \times M$

- M = varietà compatta (circonferenza, sfera, ipersfera)
- dS = spazio di de Sitter

La geometria: $dS_4 \times M$

- M = varietà compatta (circonferenza, sfera, ipersfera)
- dS = spazio di de Sitter
 - Espansione esponenziale: $\sim e^{Ht}$

La geometria: $dS_4 \times M$

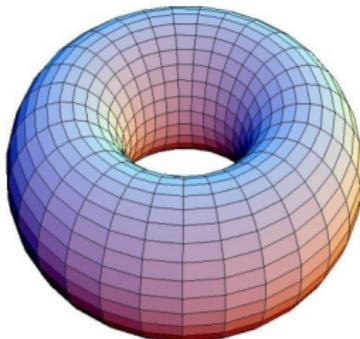
- M = varietà compatta (circonferenza, sfera, ipersfera)
- dS = spazio di de Sitter
 - Espansione esponenziale: $\sim e^{Ht}$
 - $\Lambda \propto H^2 > 0$

La geometria: $dS_4 \times M$

- M = varietà compatta (circonferenza, sfera, ipersfera)
- dS = spazio di de Sitter
 - Espansione esponenziale: $\sim e^{Ht}$
 - $\Lambda \propto H^2 > 0$
 - Scala di lunghezza: H^{-1} ("scala di Hubble")

La geometria: $dS_4 \times M$

- M = varietà compatta (circonferenza, sfera, ipersfera)
- dS = spazio di de Sitter
 - Espansione esponenziale: $\sim e^{Ht}$
 - $\Lambda \propto H^2 > 0$
 - Scala di lunghezza: H^{-1} ("scala di Hubble")
- Se M = circonferenza:



Perché de Sitter?

Perlmutter, Riess, Schmidt (1998):

Perché de Sitter?

Perlmutter, Riess, Schmidt (1998):

- Supernovae di tipo Ia (SNe Ia)

Perché de Sitter?

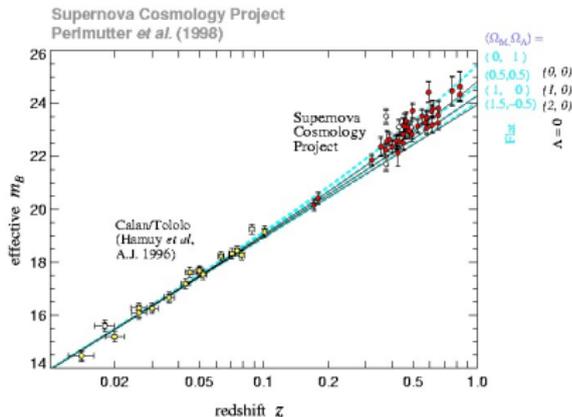
Perlmutter, Riess, Schmidt (1998):

- Supernovae di tipo Ia (SNe Ia)
- Luminosità apparente \leftrightarrow distanza effettiva

Perché de Sitter?

Perlmutter, Riess, Schmidt (1998):

- Supernovae di tipo Ia (SNe Ia)
- Luminosità apparente \leftrightarrow distanza effettiva



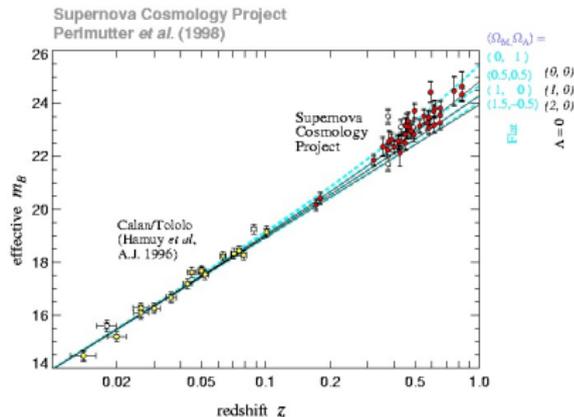
In flat universe: $\Omega_M = 0.28 [\pm 0.085 \text{ statistical}] [\pm 0.05 \text{ systematic}]$

Prob. of fit to $\Lambda = 0$ universe: 1%

Perché de Sitter?

Perlmutter, Riess, Schmidt (1998):

- Supernovae di tipo Ia (SNe Ia)
- Luminosità apparente \leftrightarrow distanza effettiva



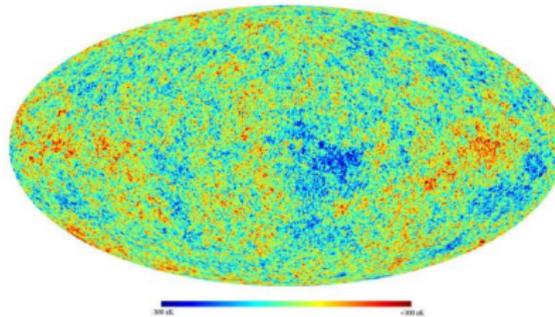
In flat universe: $\Omega_M = 0.28 [\pm 0.085 \text{ statistical}] [\pm 0.05 \text{ systematic}]$

Prob. of fit to $\Lambda = 0$ universe: 1%

- **L'universo e' in espansione accelerata!** (Premio Nobel 2011)

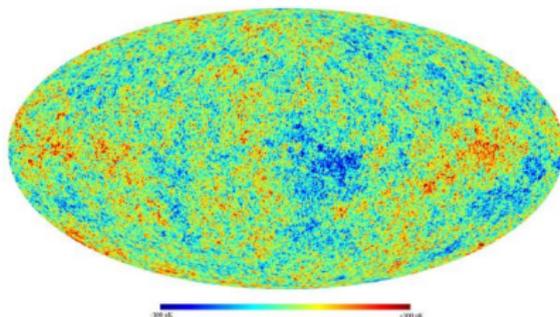
Perché de Sitter?

Radiazione Cosmica di Fondo (CMB):



Perché de Sitter?

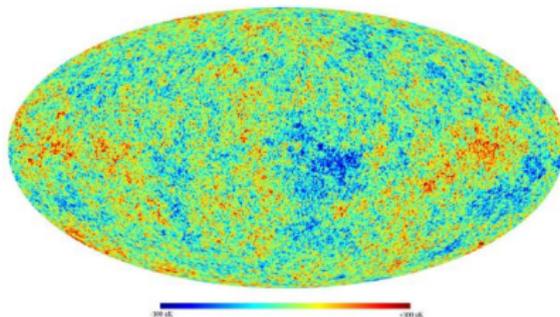
Radiazione Cosmica di Fondo (CMB):



- Spettro di corpo nero $T \sim 2.7$ K

Perché de Sitter?

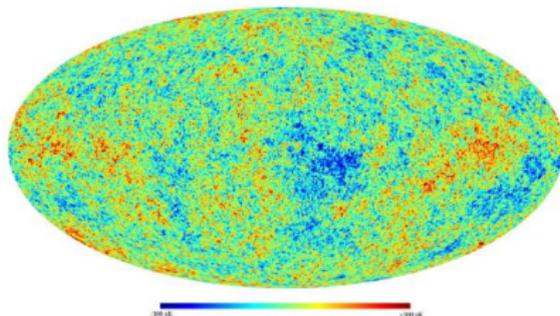
Radiazione Cosmica di Fondo (CMB):



- Spettro di corpo nero $T \sim 2.7$ K
- Fotografia dell'universo al momento della ricombinazione

Perché de Sitter?

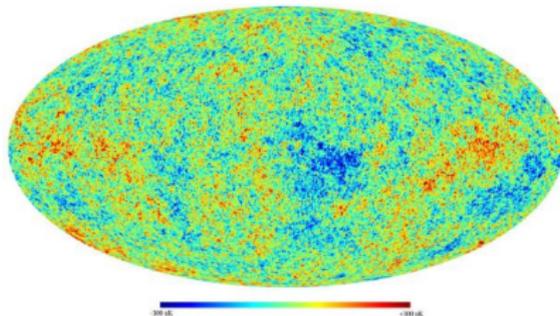
Radiazione Cosmica di Fondo (CMB):



- Spettro di corpo nero $T \sim 2.7$ K
- Fotografia dell'universo al momento della ricombinazione
- Sorprendentemente omogeneo... e la causalità?

Perché de Sitter?

Radiazione Cosmica di Fondo (CMB):



- Spettro di corpo nero $T \sim 2.7$ K
- Fotografia dell'universo al momento della ricombinazione
- Sorprendentemente omogeneo... e la causalità?
- \Rightarrow Inflazione (fase di espansione esponenziale)

Riduzione dimensionale

Riduzione dimensionale

- L'azione: $S = S_{EH}^D$ con ansatz $dS_4 \times M$

Riduzione dimensionale

- L'azione: $S = S_{EH}^D$ con ansatz $dS_4 \times M$
- Assunzione di partenza: il raggio di M non dipende dalle extra dimensioni

Riduzione dimensionale

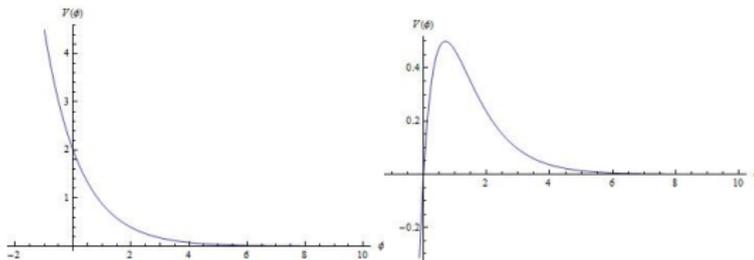
- L'azione: $S = S_{EH}^D$ con ansatz $dS_4 \times M$
- Assunzione di partenza: il raggio di M non dipende dalle extra dimensioni
- Riduzione dimensionale $\rightarrow S = S_{EH}^4 + S_\phi^4 - S_{V_\phi}^4$

Riduzione dimensionale

- L'azione: $S = S_{EH}^D$ con ansatz $dS_4 \times M$
- Assunzione di partenza: il raggio di M non dipende dalle extra dimensioni
- Riduzione dimensionale $\rightarrow S = S_{EH}^4 + S_\phi^4 - S_{V_\phi}^4$
- $\phi \sim \text{Log}(R(x))$, $R(x)$ =raggio di M , ϕ ="radione"

Riduzione dimensionale

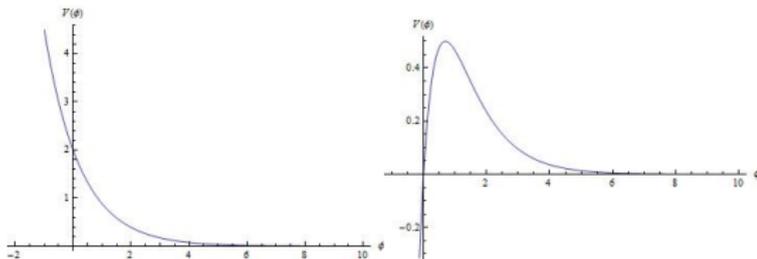
- L'azione: $S = S_{EH}^D$ con ansatz $dS_4 \times M$
- Assunzione di partenza: il raggio di M non dipende dalle extra dimensioni
- Riduzione dimensionale $\rightarrow S = S_{EH}^4 + S_\phi^4 - S_{V_\phi}^4$
- $\phi \sim \text{Log}(R(x))$, $R(x)$ =raggio di M , ϕ ="radione"
- Potenziale del radione:



A sinistra: circonferenza; A destra: ipersfera.

Riduzione dimensionale

- L'azione: $S = S_{EH}^D$ con ansatz $dS_4 \times M$
- Assunzione di partenza: il raggio di M non dipende dalle extra dimensioni
- Riduzione dimensionale $\rightarrow S = S_{EH}^4 + S_\phi^4 - S_{V_\phi}^4$
- $\phi \sim \text{Log}(R(x))$, $R(x)$ =raggio di M , ϕ ="radione"
- Potenziale del radione:



A sinistra: circonferenza; A destra: ipersfera.

- Un minimo locale e' necessario per la stabilizzazione

Stabilizzazione del potenziale del radione

Stabilizzazione del potenziale del radione

Carroll, Johnson, Randall (2009):

Stabilizzazione del potenziale del radione

Carroll, Johnson, Randall (2009):

- Aggiunta di flusso \leftrightarrow generalizzazione del campo elettromagnetico

Stabilizzazione del potenziale del radione

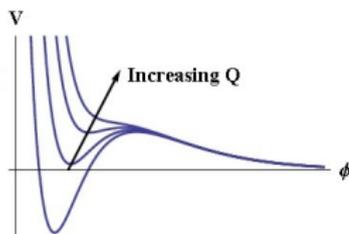
Carroll, Johnson, Randall (2009):

- Aggiunta di flusso \leftrightarrow generalizzazione del campo elettromagnetico
- Simmetria del flusso: stessa di M .

Stabilizzazione del potenziale del radione

Carroll, Johnson, Randall (2009):

- Aggiunta di flusso \leftrightarrow generalizzazione del campo elettromagnetico
- Simmetria del flusso: stessa di M.
- Dopo la riduzione dimensionale il potenziale del radione è modificato:

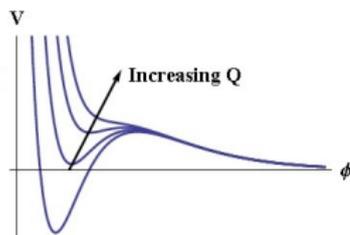


Q =intensità del flusso

Stabilizzazione del potenziale del radione

Carroll, Johnson, Randall (2009):

- Aggiunta di flusso \leftrightarrow generalizzazione del campo elettromagnetico
- Simmetria del flusso: stessa di M .
- Dopo la riduzione dimensionale il potenziale del radione è modificato:



Q =intensità del flusso

- **Non funziona se M =circonferenza!**

M=circonferenza: effetto Casimir

M=circonferenza: effetto Casimir

Appelquist, Chodes (1983):

M=circonferenza: effetto Casimir

Appelquist, Chodes (1983):

- In presenza di materia \rightarrow condizioni periodiche sulle funzioni d'onda

M=circonferenza: effetto Casimir

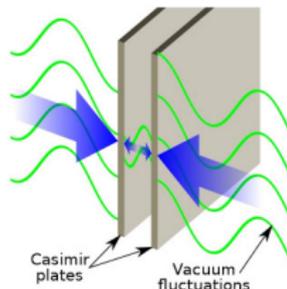
Appelquist, Chodes (1983):

- In presenza di materia \rightarrow condizioni periodiche sulle funzioni d'onda
- Effetti quantistici generano un'energia di vuoto con parte finita

M=circonferenza: effetto Casimir

Appelquist, Chodes (1983):

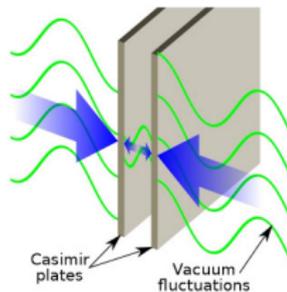
- In presenza di materia \rightarrow condizioni periodiche sulle funzioni d'onda
- Effetti quantistici generano un'energia di vuoto con parte finita



M=circonferenza: effetto Casimir

Appelquist, Chodes (1983):

- In presenza di materia \rightarrow condizioni periodiche sulle funzioni d'onda
- Effetti quantistici generano un'energia di vuoto con parte finita

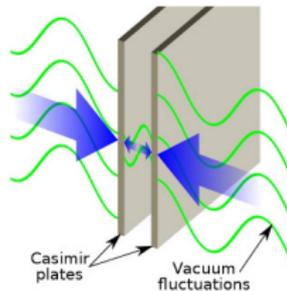


- È un effetto Casimir!

M=circonferenza: effetto Casimir

Appelquist, Chodes (1983):

- In presenza di materia \rightarrow condizioni periodiche sulle funzioni d'onda
- Effetti quantistici generano un'energia di vuoto con parte finita



- È un effetto Casimir!
- Per geometrie piatte, particelle massless $E \sim (-)\frac{1}{R^4}$ ("-" \rightarrow fermioni)

M=circonferenza: effetto Casimir

M=circonferenza: effetto Casimir

Arkani-Ahmed, Dubovski, Nicolis, Villadoro (2007):

M=circonferenza: effetto Casimir

Arkani-Ahmed, Dubovski, Nicolis, Villadoro (2007):

- Geometria quasi piatta ($R \ll H^{-1}$)

M=circonferenza: effetto Casimir

Arkani-Ahmed, Dubovski, Nicolis, Villadoro (2007):

- Geometria quasi piatta ($R \ll H^{-1}$)
- Per particelle massive, decadimento esponenziale:

$$E \sim \frac{(-)e^{-mR}}{R^4}$$

M=circonferenza: effetto Casimir

Arkani-Ahmed, Dubovski, Nicolis, Villadoro (2007):

- Geometria quasi piatta ($R \ll H^{-1}$)
- Per particelle massive, decadimento esponenziale:

$$E \sim \frac{(-)e^{-mR}}{R^4}$$

- La presenza di bosoni e fermioni con masse diverse (SM) gerano un minimo di potenziale:

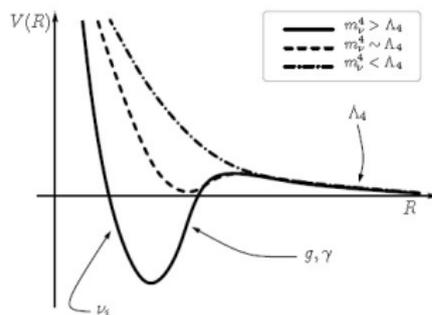
M=circonferenza: effetto Casimir

Arkani-Ahmed, Dubovski, Nicolis, Villadoro (2007):

- Geometria quasi piatta ($R \ll H^{-1}$)
- Per particelle massive, decadimento esponenziale:

$$E \sim \frac{(-)^e e^{-mR}}{R^4}$$

- La presenza di bosoni e fermioni con masse diverse (SM) gerano un minimo di potenziale:



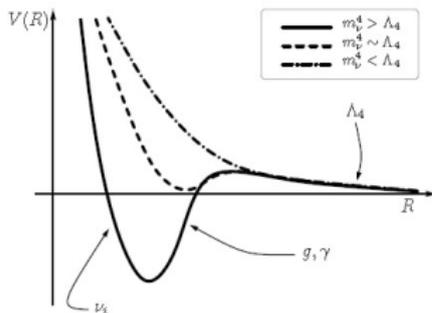
M=circonferenza: effetto Casimir

Arkani-Ahmed, Dubovski, Nicolis, Villadoro (2007):

- Geometria quasi piatta ($R \ll H^{-1}$)
- Per particelle massive, decadimento esponenziale:

$$E \sim \frac{(-)^e e^{-mR}}{R^4}$$

- La presenza di bosoni e fermioni con masse diverse (SM) gerano un minimo di potenziale:



- E quando $R \sim H^{-1}$?

Stabilità lineare

- La teoria e' intrinsecamente nonlineare
- Perturbazioni attorno alla configurazione di equilibrio:
 $G_{AB} = G_{AB}^*(x) + h_{AB}(x)$, $h \ll G$
- Sostituita nell'azione di Einstein-Hilbert definisce una teoria per h_{AB}
- La teoria linearizzata si ottiene dal troncamento al secondo ordine in h
- Le equazioni del moto possono avere soluzioni instabili (esponenziali divergenti)
- L'esistenza instabilità puo' definire un limite sulla lunghezza delle dimensioni extra

Instabilità di Gregory-Laflamme

Instabilità di Gregory-Laflamme

Gregory, Laflamme (GL) (1993):

Instabilità di Gregory-Laflamme

Gregory, Laflamme (GL) (1993):

- Geometria $Sch \times M$

Instabilità di Gregory-Laflamme

Gregory, Laflamme (GL) (1993):

- Geometria $Sch \times M$
- La massa M del buco nero definisce una scala di lunghezza naturale $\sim M^{-1}$

Instabilità di Gregory-Laflamme

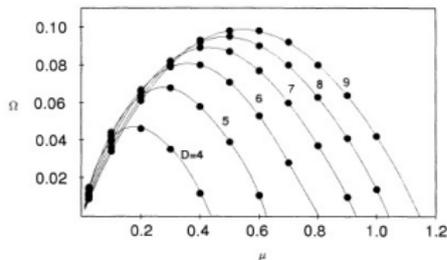
Gregory, Laflamme (GL) (1993):

- Geometria $Sch \times M$
- La massa M del buco nero definisce una scala di lunghezza naturale $\sim M^{-1}$
- Le equazioni per le perturbazioni hanno soluzioni di tipo $\sim e^{\Omega t} e^{i\mu y}$, ($y \rightarrow$ dimensione extra)

Instabilità di Gregory-Laflamme

Gregory, Laflamme (GL) (1993):

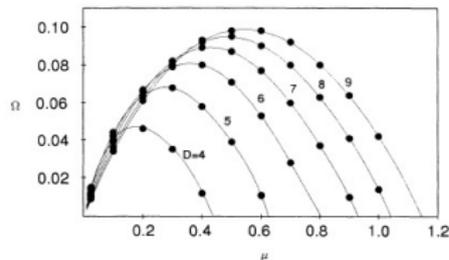
- Geometria $Sch \times M$
- La massa M del buco nero definisce una scala di lunghezza naturale $\sim M^{-1}$
- Le equazioni per le perturbazioni hanno soluzioni di tipo $\sim e^{\Omega t} e^{i\mu y}$, ($y \rightarrow$ dimensione extra)
- Ω e μ non sono indipendenti:



Instabilità di Gregory-Laflamme

Gregory, Laflamme (GL) (1993):

- Geometria $Sch \times M$
- La massa M del buco nero definisce una scala di lunghezza naturale $\sim M^{-1}$
- Le equazioni per le perturbazioni hanno soluzioni di tipo $\sim e^{\Omega t} e^{i\mu y}$, ($y \rightarrow$ dimensione extra)
- Ω e μ non sono indipendenti:



- Questi modi sono congelati per $R < M^{-1}$!

Analogia con GL

Analogie tra Sch e dS :

Analogia con GL

Analogie tra *Sch* e *dS*:

- Orizzonte

Analogia con GL

Analogie tra *Sch* e *dS*:

- Orizzonte
- Temperatura

Analogia con GL

Analogie tra *Sch* e *dS*:

- Orizzonte
- Temperatura
- Scala di lunghezza caratteristica

Analogia con GL

Analogie tra *Sch* e *dS*:

- Orizzonte
- Temperatura
- Scala di lunghezza caratteristica

Instabilità di tipo GL $\Rightarrow R < H^{-1}$?

Conclusioni e prospettive

Conclusioni e prospettive

- Calcolo dell'effetto Casimir per $R \sim H^{-1}$. Genera un minimo di potenziale anche nel caso generale?

Conclusioni e prospettive

- Calcolo dell'effetto Casimir per $R \sim H^{-1}$. Genera un minimo di potenziale anche nel caso generale?
- Ricerca di instabilità di tipo Gregory-Laflamme:

Conclusioni e prospettive

- Calcolo dell'effetto Casimir per $R \sim H^{-1}$. Genera un minimo di potenziale anche nel caso generale?
- Ricerca di instabilità di tipo Gregory-Laflamme:
 - Esistono nel caso $dS_4 \times M$?

Conclusioni e prospettive

- Calcolo dell'effetto Casimir per $R \sim H^{-1}$. Genera un minimo di potenziale anche nel caso generale?
- Ricerca di instabilità di tipo Gregory-Laflamme:
 - Esistono nel caso $dS_4 \times M$?
 - Restringono la compattificazione a $R < H^{-1}$?

Conclusioni e prospettive

- Calcolo dell'effetto Casimir per $R \sim H^{-1}$. Genera un minimo di potenziale anche nel caso generale?
- Ricerca di instabilità di tipo Gregory-Laflamme:
 - Esistono nel caso $dS_4 \times M$?
 - Restringono la compattificazione a $R < H^{-1}$?

Se sì, L'inflazione porrebbe un limite forte sulla lunghezza delle dimensioni extra

Grazie per l'attenzione!