EXTRA DIMENZIÓK, FEKETE LYUKAK

CYNOLTER GÁBOR
MTA - TKI ELTE

- BEVEZETÉS
- NAGY EXTRA DIMENZIÓK, LHC
  FEKETE LYUK KELTÉS
- GÖRBÜLT EXTRA DIMENZIÓK (RS)
  RADION, LHC

GYÖNGYÖSTARJÁN, INDUL AZ LHC
2007. OKT. 27-31.

HIERARCHIA PROBLÉMA

- SM KÍSÉRLETILEG ELLENŐRZÖTT

- '70, WSG, RENORMÁLHATÓ
  ÉRVÉNYES TETSZŐLEGES SKÁLÁIG

- MA: SM NEM VÉGSŐ
  FUNDAMENTÁLIS ELMÉLET

  EFFEKTÍV ALACSONY ENERGIÁS
  ELMÉLET $\lesssim \mathcal{O}(\text{TeV})$

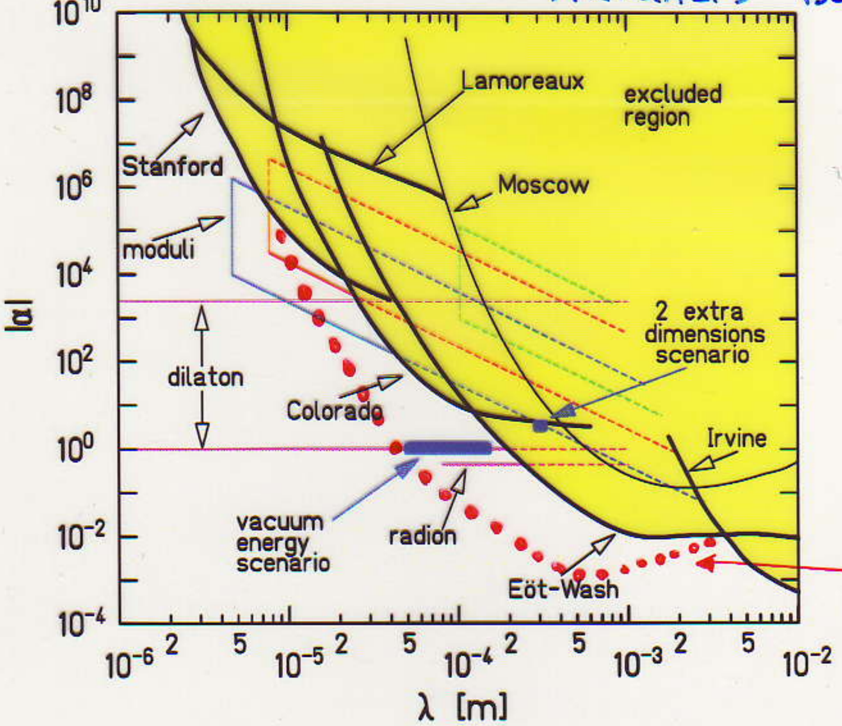
- OKA:

  RÉSZECSKEFIZIKA ÉS GRAVITÁCIÓ
  EGYÜTTES JELENLÉTE

- SM: ELEMI SKALÁR, HIGGS
  $\mathcal{O}(100\ \text{GeV} - 1\text{TeV})$

$$V(r) = -G\frac{m_1 m_2}{r}\left(1 + \alpha e^{-r/\lambda}\right)$$

Yukawa potenciál teszt
VIRTUÁLIS BOZON CSERÉBŐL



Eöt-Wash 2006

Figure 5: 95%-confidence-level constraints on ISL-violating Yukawa interactions with 1 μm $< \lambda <$ 1 cm. The heavy curves give experimental upper limits (the Lamoreaux constraint was computed in Reference (151)). Theoretical expectations for extra dimensions (56), moduli (101), dilaton (102), and radion (83) are shown as well.

$\lambda = r$

n db tömeges KK grav.

n extra dim :

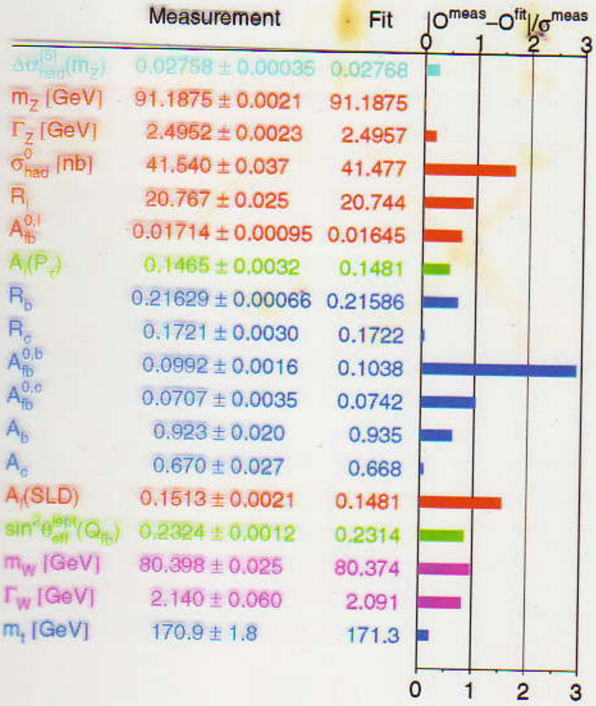
modellfüggetlen

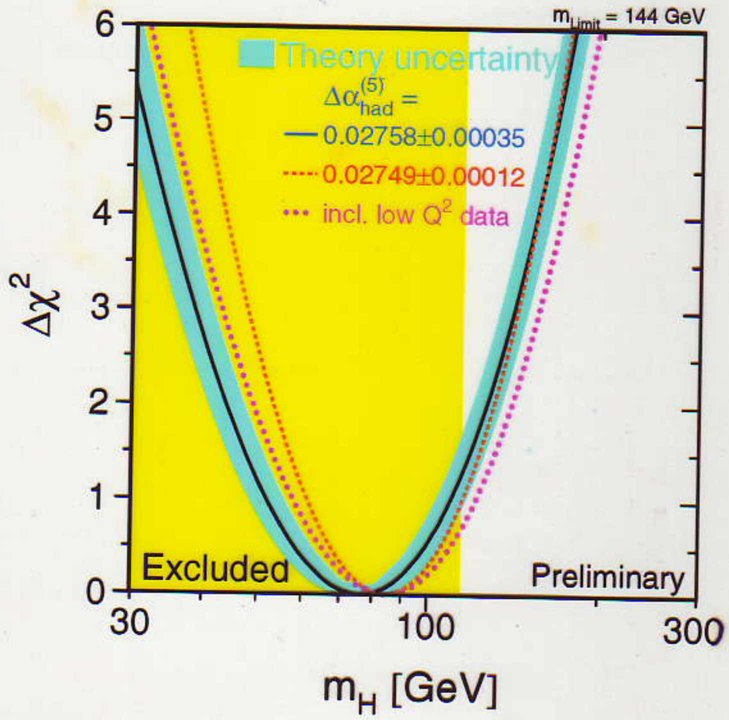
$\alpha = \frac{4}{3}(2n)$; $\frac{4}{3}$ polarizációk számából!

hep-ph/0611184

ADELBERGER, HECKEL & NELSON ph/0307284
ANN. REV. NUCL. PART SCI 53, 77-121, 2003

Elektrogyenge precíziós mérések
Higgs korlátok



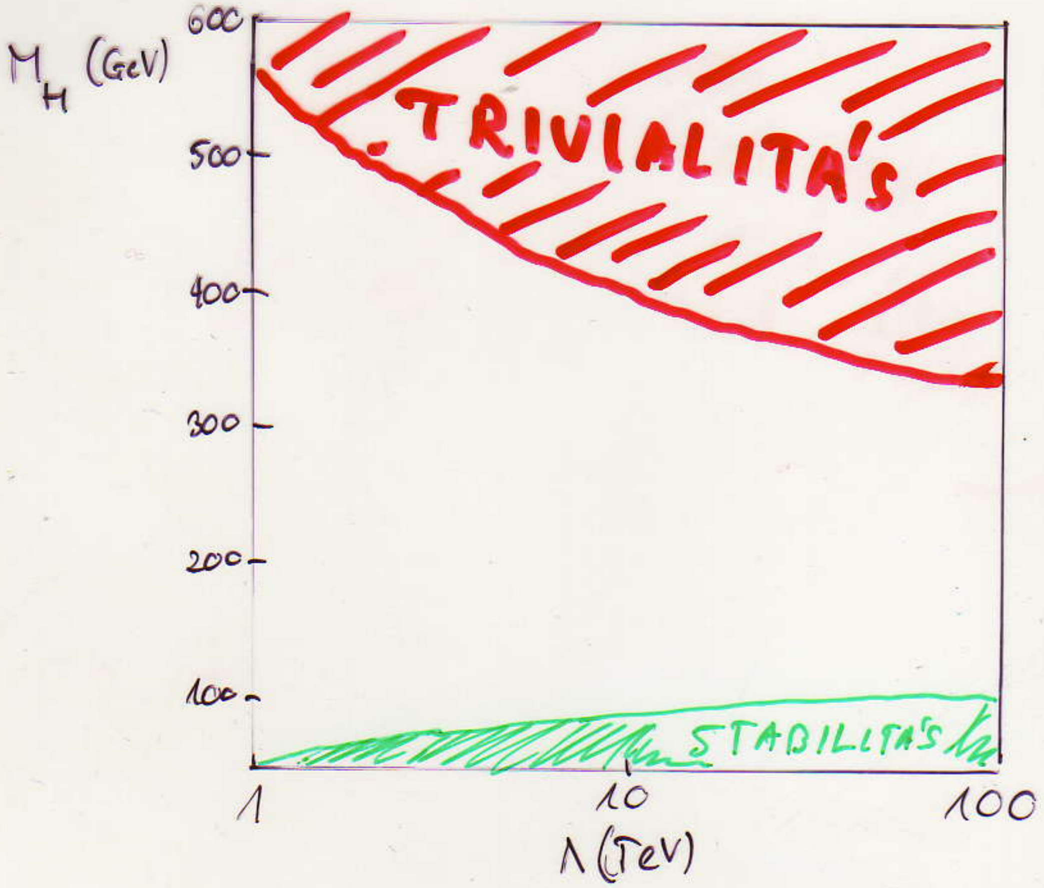


LEPEWWG: $M_H < 144$ GeV, 95% C.L $M_H = 76^{+33}_{-24}$ GeV

Kombinált LEP +SLD+Tevatron

($114.4\text{Gev} < M_H < 199$ GeV 95% C.L. ~ 2005)

TRIVIALITÁSI ÉS VÁKUUM STABILITÁSI KORLÁTOK



λ_{ϕ^4} RGE-ből

$\Lambda \sim M_{GUT}$

lehetséges

$M_H \approx 130 - 180$ GeV

MEGOLDÁSOK λ_{ϕ^4} PROBLÉMÁRA

- SZIMMETRIA $\lambda \equiv g^2$ (mérték csat. állandó)
  (V_H STABILIZÁLÁSÁRA) $\Rightarrow$ λ jó UV viselkedés; Aszimptotikus szabadság
  - SZUPERSZIMMETRIA
  - Gauge - Higgs egyesítés ; $A_a = \begin{pmatrix} A_\mu \\ A_5 \end{pmatrix} \begin{matrix} \to A_\mu \\ \to \phi \end{matrix}$
    Higgs mértéktér extra dim. irányú komponense
    ($\to$ KIS HIGGS ELMÉLETEK)
- HIGGS nincs vagy RGE nem érvényes
  - KOMPOZIT HIGGS vagy TECHNICOLOR típusú

HUROK KORREKCIÓK δM_H^2

HA SM FUNDAMENTÁLIS :

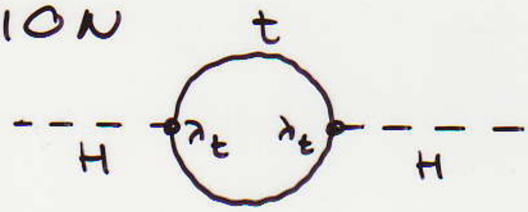
DIM. REGULARIZÁCIÓ => NINCS KVADR. DIVERGENCIA

VAN ÚJ SKÁLA : M_{PLANCK}

=> SM LEVÁGÁSOS ELMÉLET Λ

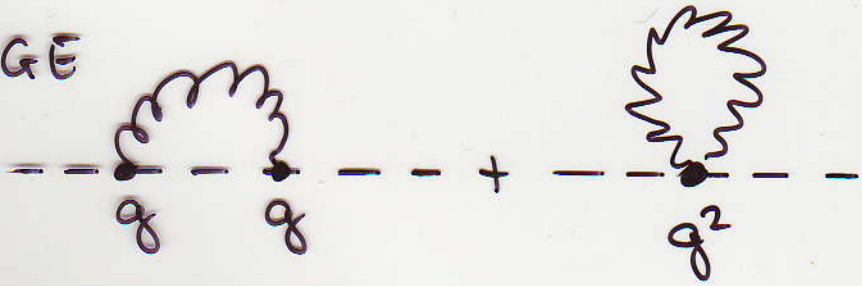
KVADRATIKUS DIVERGENCIÁK (M_H)

FERMION



$$\delta M_H^2 \simeq -\frac{3}{8\pi^2}\lambda_t^2\Lambda^2$$

GAUGE



$$\delta M_H^2 \sim g^2\Lambda^2$$

HIGGS

$$\delta M_H^2 \sim \lambda^2\Lambda^2$$

$$M_H^2 = M_{H_0}^2 + \mathcal{O}(\Lambda^2)$$ FINE TUNING.

HIERARCHIA PROBLÉMA: MIÉRT ENNYIRE KÜLÖNBÖZŐ A RÉSZECSKEFIZIKA ÉS A GRAVITÁCIÓ SKÁLÁJA? TERMÉSZETESSÉGI PROB.

MEGOLDÁSOK:

NINCS FINOM HANGOLÁS $\Lambda \lesssim 1$ TEV

ÚJ RÉSZECSKEFIZIKA ~ $\mathcal{O}$(1 TEV)

SUSY: $M_{\cancel{SUSY}} \sim 1$ TEV

$E > M_{\cancel{SUSY}}$ F-B DEGENERÁCIÓ, KIEJTÉS.

DINAMIKAI SZIMM. SÉRTÉS, ~TECHNICOLOR (NATURALNESS → FIZIKA)!

NINCS ELEMI SKALÁR, KÖTÖTT ÁLLAPOTOK

$E \geq 1$ TEV NINCS SKALÁR, TUMBLING

S, T, U : EW PRECIZIÓS MÉRÉSEK >3σ ↯

—•—

ADD, ÚJ ÉSZREVÉTEL: (1998)

GRAVITÁCIÓT KÍS. CSAK mm SKÁLÁIG ISMERJÜK → "ÚJ GRAVITÁCIÓ?"

KK : KALUZA-KLEIN

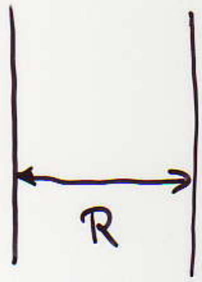
~ 1920-AS ÉVEK

KOMPAKT EXTRA DIMENZIÓK, UNIVERZÁLIS GRAV + GAUGE

↓

ALACSONY EN. EFF. ELMÉLET 4 DIM.

5 DIM KLEIN GORDON



$$\Box_5 \Phi = 0$$

$$\phi_{p,n} = e^{i p_\mu x^\mu} e^{i n \cdot z \frac{P}{2\pi}}$$

$n = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$

$$p_\mu p^\mu - \frac{n^2}{R^2} 4\pi^2 = 0$$

4 DIM KÉP : ZÉRÓ MÓDUS + KK TOWER $E \gtrsim \frac{1}{R}$

MÉRTÉK-CSATOLÁSOK:

$$S^{4+n} = -\int d^{4+n}x \, \frac{1}{4 g_*^2} F_{MN} F^{MN} \sqrt{g^{4+n}}$$

$$\frac{1}{g^2} = \frac{1}{g_*^2} V_n = \frac{1}{g_*^2} \cdot R^n$$

$[g_*] = -\frac{n}{2}$ DIM!

TERMÉSZETES MÉRET $g \sim \mathcal{O}(1)$; g_* kicsi: Planck skálán

$$R \sim \frac{1}{M_{Pl}}$$

SM KK PARTNEREI → $R \lesssim \frac{1}{TeV}$; $\frac{1}{100 TeV}$

BRANEK

ÚJ JELENSÉG . 2. HÚR FORRADALOM, POLCHINSKI

- SM TEREK LOKALIZÁLÓDHATNAK BRANEN
- GRAVITÁCIÓ BRANEN + BULKBAN

MI A BRANE?

ÁLT MEMBRÁN , P-BRANE

MAGASABB DIM: SOKASÁGBA ÁGYAZOTT

FELÜLET P-TÉRSZERŰ DIM., 3-BRANE.

TÉRELMÉLET:

~ TOPOLÓGIAI DEFEKTUS (SZOLITON)

AMIRE A TEREK LOKALIZÁLÓDHATNAK

HÚR, STRING:

D-BRANE SZÜKSÉGES DINAMIKAI OBJ.

NYÍLT HÚROK VÉGZŐDHETNEK RAJTA

SZOLITON SUGRA-BAN.

—•—

- EFFEKTÍV ALACSONY ENERGIÁS LEÍRÁS

Λ_{UV} , VÉGES RENDIG

KIS FLUKTUÁCIÓK A VÁKUUM KÖRÜL.

NAGY EXTRA DIMENZIÓK

ADD, ARKANI-HAMED, DIMOPOULOS, DVALI '98
4+n DIM.

M_{EW} ~ KÍSÉRLETI SKÁLA

=> LEHET EGYETLEN SKÁLA? !

1 FUNDAMENTÁLIS SKÁLA => NINCS HIERARCHIA
SEM H. PROBLÉMA


-> rajz!

KK FORMULA GRAVITÁCIÓRA, n-EXTRA DIM.

GAUSS TV. (VAGY HATÁS $S_{4+n} = -M_{4+n}^{n+2} \int \underbrace{d^{4+n}x}_{-(n+4)} \sqrt{g^{(4+n)}}\, \underbrace{R^{(4+n)}}_{2}$)

$$V(r) \simeq \frac{m_1 \cdot m_2}{M_{*(4+n)}^{n+2}} \frac{1}{r^{n+1}} \xrightarrow[r \gg R]{} \frac{m_1 \cdot m_2}{M_*^{n+2} R^n} \cdot \frac{1}{r}$$

$$\Rightarrow \quad M^2_{Pl,(4)} \simeq M_*^{2+n} \cdot R^n$$

↑

LEGYEN $M_{EW} \sim 1\,\mathrm{TeV}$

NAGY M_{Pl} : NAGY R, NAGY EXTRA DIM.

SM TEREK BRANEN LOKALIZÁLTAK.

- ADD -

$$R \sim 10^{\frac{30}{n} - 17} \, \mathrm{cm} \left(\frac{1\,\mathrm{TeV}}{M_{EW}}\right)^{1+\frac{2}{n}}$$

$M_{*,4+n} \sim 1\,\mathrm{TeV}$

		R^{-1}	
$n = 1$	$R \sim 10^{14}$ cm		KIZÁRVA
$n = 2$	~ 1 mm	10^{-4} eV	? →
$n = 3$	10^{-4} mm	$\sim$ eV	

NEM OLDJA MEG A HIERARCHIA PROBLÉMÁT
ÁTFOGALMAZZA.

TERMÉSZETES MÉRET

$$R \sim \frac{1}{M_{4+n}}$$

⇒ MIÉRT ILYEN NAGY AZ EXTRA DIM.
(ÉS ∞ A 4-DIM?)

→ DINAMIKAI MEGOLDÁS?
(COHEN-KAPLAN)

ADD- KÍSÉRLETI KÖVETKEZMÉNYEK

1.) GRAVITÁCIÓ KIS TÁVOLSÁGON VÁLTOZIK.

$n = 2 \qquad \frac{1}{r^2} \longrightarrow \frac{1}{r^4}$

EÖT-WASH $\qquad r \lesssim 0{,}2\ \mathrm{mm}$

$\Rightarrow M_{*,4+2} \gtrsim 3\ \mathrm{TeV} \to 3.2\ \mathrm{TeV}$

2.) KÖNNYŰ KK GRAVITONOK

(MODELL FÜGGETLEN NAGY EXTRA DIM.)

$$G_{MN} = \eta_{MN} + \frac{H_{MN}}{2\,(M_*^{n+2})^{1/2}}$$

KAN. NORMÁLT BULK GRAVITON KK MÓDUSOK. $\leftarrow$ y EXTRA DIM. $\qquad g_{\mu\nu}$

$\Delta m \sim \frac{1}{R} \sim 2\pi M_* \left(\frac{M_*}{M}\right)^{2/n}$

$\Delta m \sim \begin{cases} 0.003\,\mathrm{eV} & 2 \\ 0.1\,\mathrm{MeV} & 4 \\ 0.05\,\mathrm{GeV} & 6 \end{cases}$ (n)

INDUKÁLT METRIKÁN KERESZTÜL CSATOLÓDIK A BRANE SM TEREKHEZ

$$\int d^4x\, \mathcal{L}_{SM}\sqrt{g_i} \supseteq \int d^4x\, T^{\mu\nu} \frac{H_{\mu\nu}(x, y=0)}{(M_*^{n+2})^{1/2}}$$

BULK IMPULZUS NEM MARAD MEG

ENERGIA MEGMARAD

BRANE ~ FAL : EXTRA DIM. IMP.-T

"RIGID" EL TUD NYELNI

GYENGE CSATOLÁS $\sim \frac{1}{M_{Pl}}$

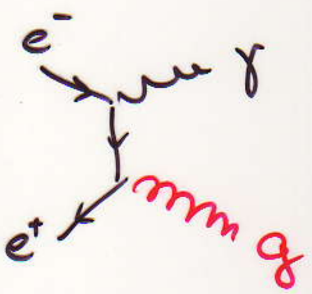
NAGY SZÁMÚ ÁLLAPOT $N(E) \sim (E \cdot R_n)^n$

$$\sigma \sim \frac{1}{M_{Pl}^2} \cdot (E \cdot R_n)^n = \frac{1}{M_*^{n+2} \cdot R_n^n} (E \cdot R_n)^n = \frac{E^n}{M_*^{n+2}}$$

EFFEKTÍVEN $\sim \frac{1}{M_*}$ HATÁSÚAK $\left(\frac{1}{M_{4+n}}\right)$

GYORSÍTÓK

GRAVITON KELTÉS A BULKBA



$$e^+ e^- \to \gamma + \not{E}_T$$

$$q \bar{q} \to \text{jet} + \not{E}_T$$

$E \sim M$, σ ÖSSZEMÉRHETŐ σ_{QED}-VEL.

GIUDICE, RATTAZZI, WELS

LHC, $e^- e^+$ (~1 TeV)

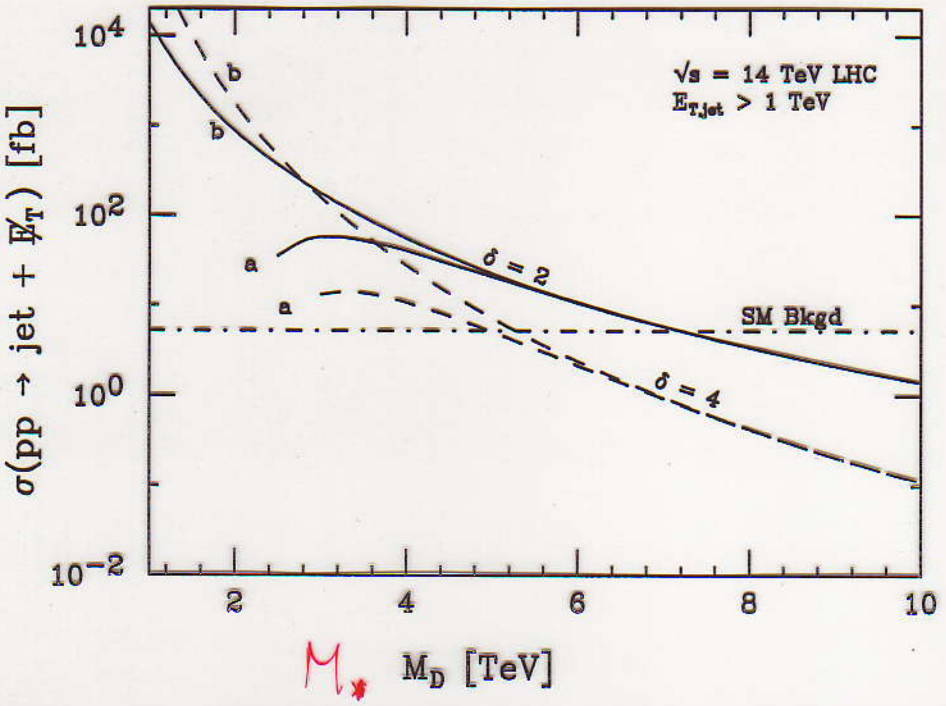
$M_* \sim \mathcal{O}(3-10$ TEV$)$ ÉRZÉKENY.

VIRTUÁLIS KK CSERE

PRECIZIÓS MÉRÉSEK , HEWITT, RIZZO.

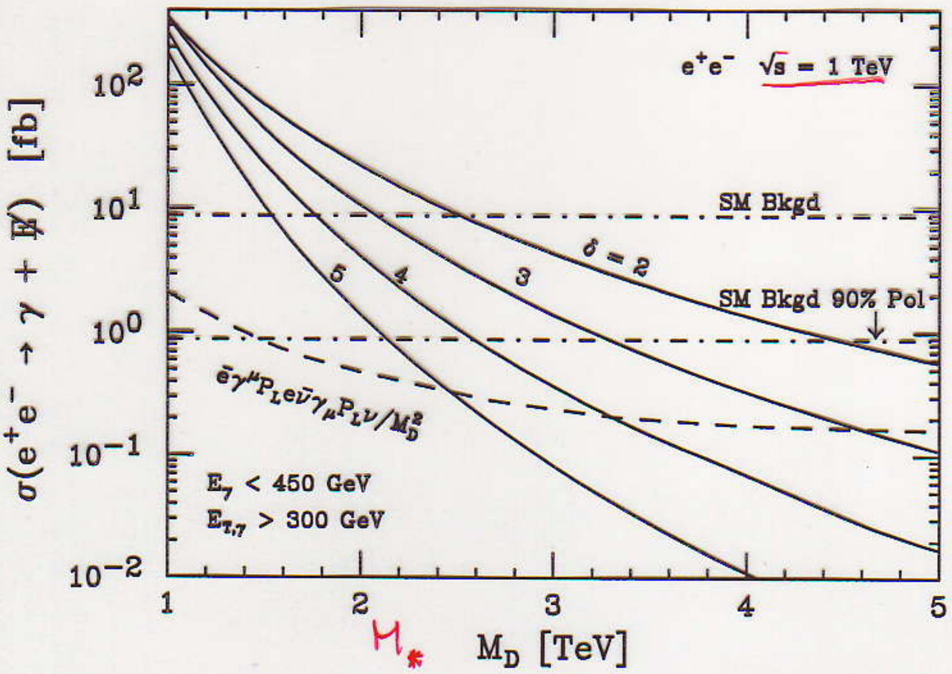
~1 TEV , ÚJ RÉSZECSKÉK , MODELLFÜGGŐ

KK GRAVITON-KELTÉS



LHC

Figure 8. The total jet + nothing cross-section versus M_D at the LHC integrated for all $E_{T,\rm jet} > 1$ TeV with the requirement that $|\eta_{\rm jet}| < 3.0$. Here again $M_* = (2\pi)^{-n/(2+n)} M_D \sim (0.4 \to 0.25) M_D$ for n (called δ in the figure) between $(2 \to 4)$. The Standard Model background is the dash-dotted line, and the signal is plotted as solid and dashed lines for $n = 2$ and 4 extra dimensions. The "a" ("b") lines are constructed by integrating the cross-section over $\hat{s} < M_D^2$ (all $\hat{s}$).



e^+e^-

Figure 7. Total $e^+e^- \to \gamma +$ nothing cross-section at a 1 TeV center-of-mass energy e^+e^- collider. Here $M_* = (2\pi)^{-n/(2+n)} M_D \sim (0.4 \to 0.25) M_D$ for n (called δ in the figure) between $(2 \to 6)$. The signal from graviton production is presented as solid lines for various numbers of extra dimension ($n = 2, 3, 4, 5$). The Standard Model background for unpolarized beams is given by the upper dash-dotted line, and the background with 90% polarization is given by the lower dash-dotted line. The signal and background are computed with the requirement $E_\gamma < 450$ GeV in order to eliminate the $\gamma Z \to \gamma \bar{\nu} \nu$ contribution to the background. The dashed line is the Standard Model background subtracted signal from a representative dimension-6 operator. (Fig. 2 from Ref. [21].)

MÉRTÉK CSATOLÁSOK EGYESÍTÉSE

MSSM - log futás $M_{GUT} \gg M$

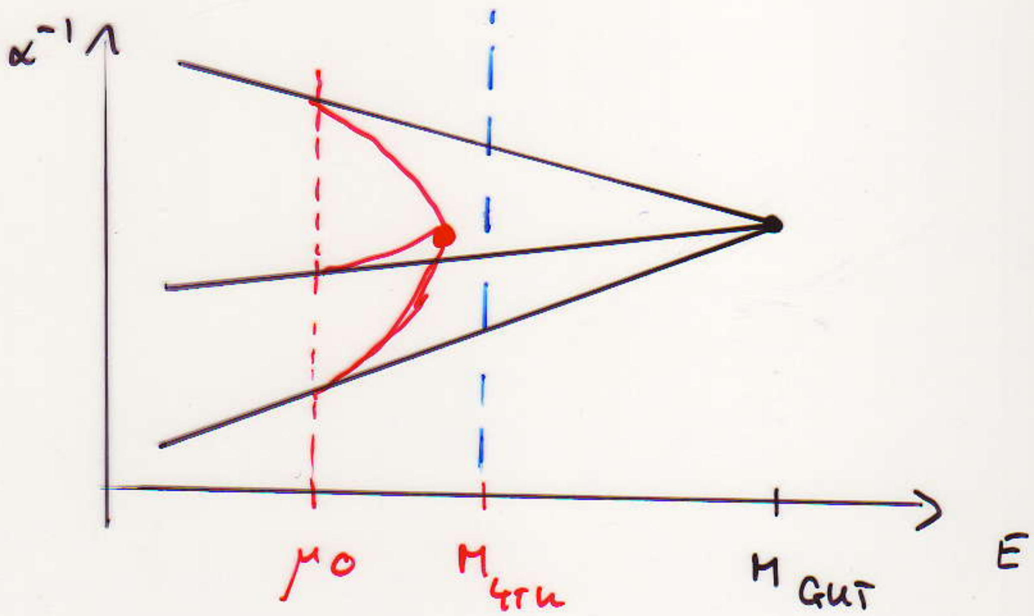
DIENES - DUDAS - GERGHETTA '98

EXTRA DIM. MEGNYÍLIK SM RÉSZECSKÉKNEK

μ_0 SKÁLÁN : HATVÁNYKORREKCIÓK SOK KK MÓD-BÓL

DIMENZIÓS CSATOLÁSOK $\sim(\mu_0, M)$ függés

=> $E > \mu_0$ HATVÁNYSZERŰ FUTÁS, GYORS EGYESÍTÉS.



L. HALL, Y. NOMURA

ADD – KOZMOLÓGIA, ASZTROFIZIKA

- UNIVERZUM MAX. HŐMÉRSÉKLETE (REHEATING)
  HOGY A HŰLÉST SZOKÁSOS HUBBLE-TÁGULÁS DOMINÁLJA

$$T_* \lesssim 10 \text{ MeV} \qquad n=2,\ M \sim 1\,\text{TeV}$$

$\Rightarrow$ EGZOTIKUS BARIOGENEZIS, INFLÁCIÓ

- NAP HŰLÉSE, SZUPERNOVÁK

  KÖNNYŰ KK GRAVITONOK SOK ENERGIÁT VIHETNEK

SN 1987A $n=2$ –

$\Rightarrow$ $M_* \gtrsim 50$ TeV $\quad n=2$
(HALL–SMITH ~100 TeV)

$M_* \gtrsim 4$ TeV $\quad n=3$ ([illegible])

$M_* \gtrsim 1$ TeV $\quad n=4$ Perelstein PRL '99

$n=2$ KIZÁRVA.

JELENSÉG: KK GRAVITONOK ENERGIÁT VISZNEK EL A BULKBA

$\Rightarrow \quad n \geq 3$

FEKETE LYUK KELTÉS

(TEV KVANTUM GRAVITÁCIÓ ELÉRHETŐ)

BH ● KIALAKUL HA ELEGENDŐ TÖMEG HORIZONTON BELÜL (FÖLD 8 mm ↔ 6000 km)

HORIZONT MÉRETE?

4D SCHWARZSCHILD

$$ds^2 = \underbrace{\left(1 - \frac{GM}{r}\right)}_{\text{HORIZONT } = 0} dt^2 - \frac{dr^2}{\left(1 - \frac{GM}{r}\right)} + r^2 d^2\Omega$$

$$r_H^{(4D)} = G \cdot M$$

(4+n) dimenzió

$$1 - \frac{GM}{r} \longrightarrow 1 - \frac{M}{M_*^{2+n}\, r^{1+n}}$$

$$r_H \sim \left(\frac{M}{M_*}\right)^{\frac{1}{1+n}} \frac{1}{M_*} \qquad \left(\cdot \left(\frac{8\,\Gamma\left(\frac{n+3}{2}\right)}{(n+2)\,\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)} \right)^{\frac{1}{n+1}} \right.$$

egzakt

● BH KIALAKUL HA IMPAKT PARAMÉTER $< r_H$

$$M_{BH} \sim \sqrt{s} \qquad \sigma \sim \text{geometriai}$$

$$\sigma \sim \pi r_H^2 \sim \frac{1}{M_*^2} \left(\frac{M_{BH}}{M_*}\right)^{\frac{2}{n+1}} \sim \frac{1}{\text{TeV}^2} \sim 400\ \text{pb}$$

LHC : $\sim 10^7$ ● / ÉV!

NINCS ELNYOMVA
- g_i MÉRTÉK CSATOLÁS
- FÁZISTÉR FAKTORRAL

NEM STABILAK!

BH BOMLÁS HAWKING SUGÁRZÁSSAL

JELLEGZETES: MINDEN RÉSZECSKÉT AZONOS VLSZG-GEL KELT, GÖMBSZIMM.

SM : 60 RÉSZ. 6 lepton, 1 γ

→ 10% LEPTON KELTÉS
– 2% FOTON (γ)
– 5% ν (HIÁNYZÓ E)

KOZMIKUS SUGÁRZÁSBAN IS MEGNÉZTÉK (FENG, PRD 2002)

— o —

KOZMIKUS SUGÁRZÁS

AD-E KORLÁTOT A TEV FIZIKÁRA,

NUKLEONOK $\sim 10^{20}$ eV $= 10^{8}$ TEV

NAGY TKP E MEGVAN, NEM ELÉG (~100 TEV)

NEM TESZTELI A TRANS-PLANCKI FIZIKÁT.

KIS TÁVOLSÁG, <u>NAGY IMP-ÁTADÁS</u> KELL, DE

N – N ÁLT DIFFRAKTÍV FOLYAMATOK

$\simeq \mathcal{O}$(GeV) ENERGIA ÁTADÁS

FEKETE LYUK KELTÉS ÚJRA '2007.

LISA RANDALL, P. MEADE

BR1

EDDIG OPTIMISTA JÓSLATOK (1 KÉPLET?)

TERMIKUS BH, NAGY ENTRÓPIA,

INELASZTIKUSSÁG + BH ENTRÓPIA → NINCS LÁTVÁNYOS TŰZIJÁTÉK

⇒ QG HATÁSA 2 → 2 FOLYAMATOKBAN

- SZÖG ELOSZLÁSOKBAN
- – " – ENERGIAFÜGGÉSÉBEN | nagy p_T

KOMPOZITSÁGI VIZSGÁLATOKHOZ HASONLÓAN.

— ◦ —

FEKETE LYUK KELTÉS (EDDIG)

GEOMETRIAI σ

$$\sigma(E) \sim \frac{1}{M_*^2}\left(\frac{E}{M_*}\right)^{\alpha} \qquad \alpha < 1 \qquad \overset{\text{ADD}}{\frac{2}{n+1}}$$

- PDF-k GYORSAN LEVÁGNAK ($\rightarrow M_*$ is BIZONYTALAN)
- $r_{\text{SCHWARZSCHILD}}$ konvenciófüggő $\cdot 1 \quad \cdot 1.6 \quad \cdot 2.9$

jóllehet eltűnik m_{KK} threshold (határ) keltéséhez (ill. korláthoz) hasonlítva

MIKOR ALAKUL KI FLY (BH)?

$E >> M_*$ biztos

PONTOS HATÁR BIZONYTALAN $E > M_*$? NEM ELÉGSÉGES

x_{MIN} : $x_{MIN} \cdot M_*$ jó a szemiklasszikus közelítés

NAGYOBB x_{MIN}, REJTETEBB QG.

TERMIKUSSÁG

FELTÉTELEK ARRA, HOGY MIKOR ALAKUL KI VALÓBAN TERMIKUS BH.

- 2 ÜTKÖZŐ RÉSZECSKE $\frac{E}{2}$ $\lambda_{COMPTON}$ r_S-n belül $m_{BH} = E$

  $\rightarrow$ $x_{min} > 4.1$ (eddig $r_S > 1/E$ $x_{min} > 0.44$..!)

(RS BH-ra is faktor 16-3 !)

- BOMLÁSOK IDŐFÜGGÉSE IS VIZSGÁLHATÓ

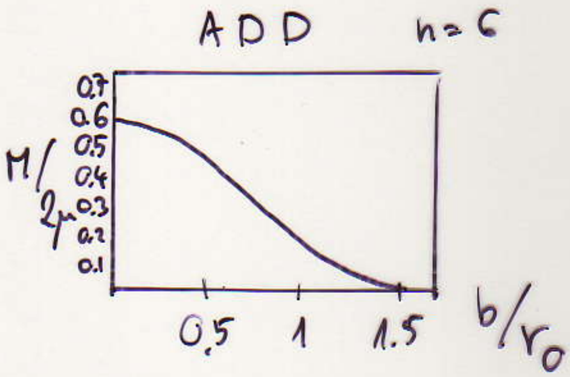
  $\rightarrow$ KORLÁTOK

- $\tau_{BH} > 1/M$ ~ REZONANCIASZERŰ LEGYEN

  $x_{min} \gtrsim 3$ x

INELASZTIKUSSÁG

A PARTONOK MÉG r_s-EN BELÜLRE ÉRÉS ELŐTT ENERGIÁT VESZTENEK, IMPAKT PARAMÉTER



MAX $b=0$ ~ 0.6

→ $x_{MIN} \sim 1-6$

EZ GRAVITÁCIÓBAN KLASSZIKUS SZÁMOLÁS

→ KVANTUM GRAV. KORREKCIÓ! $r_0 \sim r_S\left(E_{TOTAL}/2\mu\right)$

— • —

FEKETE LYUK KELTÉS HATÁRA MESSZEBB VAN, MINT GONDOLTUK!

kisebb σ_{BH}, M_{BH} (S_{BH} is kisebb!)

→ NINCS KLASSZIKUS TERMIKUS BH

VÉGÁLLAPOTOK SZÁMA (SZÁMOLÁS)

6 RÉSZECSKE VÉGÁLLAPOT IS EL VAN NYOMVA A 2-RÉSZ-HEZ KÉPEST

6 SEM TERMIKUS → 2-VÉGÁLLAPOTOK

KVANTUM GRAVITÁCIÓ 2→2 FOLYAMATOKBAN

2- JET VÉGÁLLAPOTOK, TRANSZVERZALITÁS, HÁTTÉRTŐL ELVÁLIK

QCD : ÁLT. t- CSATORNA ~ ELŐRE-HÁTRA SZÓRÁS

BH (QG) : IZOTRÓP → NAGY P_T - JŰ JETEK

MÉRÉS:

- σ_{DIFF}, SZÖGFÜGGÉS, ~ E- FÜGGÉS
- ERŐS DINAMIKA HATÁSÁT KERESNI (MINT ÖSSZETETT (KOMPOZIT) MODELLEKBEN
- FLAVOUR- (íz) SÉRTŐ

JELEK:

- σ HIRTELEN MEGJELENÉSE, THRESHOLD
- NAGY P_T - JŰ ESEMÉNYEK
- INTERFERENCIA SEGÍT M_* AZONOSÍTÁSÁBAN

TÁRGYALHATÓ HÚRELMÉLETBEN VAGY EFFEKTÍV OPERÁTOROKKAL

KÉRDÉSEK:

- TÖLTÉS, SPIN
- $\not{E}_T$ VÉGÁLLAPOTOK.

PROTON STABILITÁS

NEM RENORMÁLHATÓ OPERÁTOROK ELNYOMÁSA
MAX SKÁLÁVAL $M_* \sim 1$ TEV

ÁLT. OP. -> KATASZTRÓFÁLIS

GUT DIM-6 OP. P-BOMLÁS

$$\tau_p \sim \frac{1}{\alpha^2_{GUT} M_p} \left(\frac{M_{GUT}}{M_p} \right)^4$$

M_{GUT} -> $\lesssim M_{*,4+n}$ -> GYORS P-BOMLÁS

?, FCNC, K-BOMLÁS -> UED

-> UNIVERZÁLIS EXTRA DIM'K.
• NEM ÁTFEDŐ HULLÁMFV-K.

ADD: $n \geq 3$ LEHETSÉGES

- $M_* \sim 1$ TEV KÍSÉRLETILEG ELÉRHETŐ
- LHC TESZTELI A QUANTUM GRAVITY-T.
  FEKETE LYUK KELTÉS
- BLACK HOLE PRODUCTION,
  GYORS BOMLÁS HAWKING SUGÁRZÁSSAL
- RARE DECAYS, $BR(K \to \pi + g)_{n=2} \lesssim 10^{-12}$
  RITKA BOMLÁSOK.

GÖRBÜLT EXTRA DIM-K

ÚJ ÉSZREVÉTEL: RANDALL & SUNDRUM '99

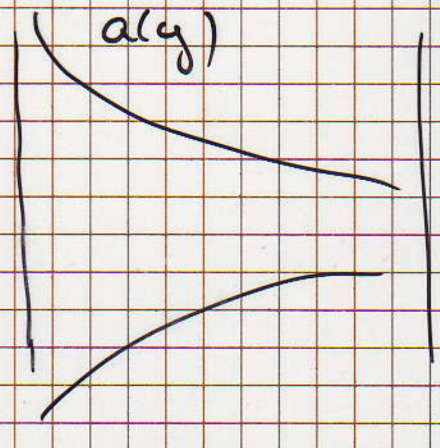
BULK, BRANE ENERGIASŰRŰSÉG, A
Λ KOZMOLÓGIAI KONSTANS GÖRBÜLT
NEM SZORZAT MEGOLDÁSOKRA VEZET.

$\Rightarrow$ GRAVITÁCIÓ EXPONENCIÁLIS
HIERARCHIÁT GENERÁL
(GRAVITÁCIÓS VÖRÖS ELTOLÓDÁS!)

$$ds^2 = a^2(y)\,\eta_{\mu\nu}\,dx^\mu dx^\nu - dy^2$$

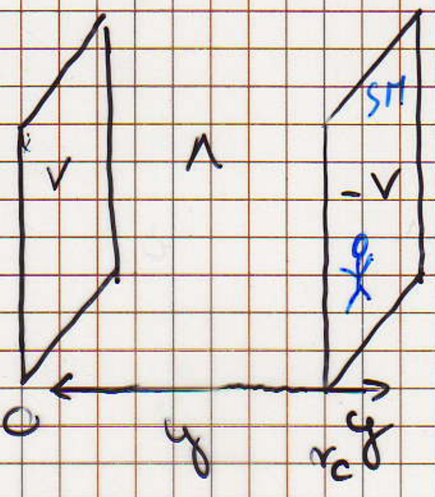
$$a(y) = e^{-ky}$$

SZTATIKUS 4DIM POINCARÉ INVARIÁNS MEGOLDÁS



2 BRANE + BULK

RS1 2 BRANE



9905...

1 EXTRA DIM

$$S_1/Z_2 \qquad y \leftrightarrow -y$$

NINCS Y^M GHOST.

$V>0 \quad , \quad \Lambda < 0$

$$S = \int d^4x\, dy \left(-M_{(5)}^3 R - \Lambda\right) + \sum_i{}' \int d^4x \sqrt{|g_i|}\, V_i$$

$$2k^2 = \frac{1}{M_5^{(3)}} = 16\pi\, G_{(5)}$$

5 DIM EINSTEIN EGYENLETEK

$$G_{ab} = R^{(5)}_{ab} - \frac{1}{2} g_{ab} R^{(5)} = k^2\, T_{ab}$$

$$\Rightarrow \qquad a(y) = e^{-k|y|} \qquad \Lambda = -6\frac{k^2}{\kappa^2} < 0 \quad AdS_5$$

2 finom hangolás reláció: $\quad V_0 = -V_{rc}$

$$\kappa^2 V^2 = -6\Lambda$$

RS1-EINSTEIN EGY.

$' = \partial_y$

$\mu\nu$:

$$-3\, g^{(5)}_{\mu\nu} \left(\frac{a''}{a} + \left(\frac{a'}{a}\right)^2 \right) = \kappa^2 g^{(5)}_{\mu\nu} \left(\Lambda + V\delta(y) - V\delta(y-r_c) \right)$$

55:

$$-6 \left(\frac{a'}{a}\right)^2 = \kappa^2 \Lambda$$

$$\Rightarrow \quad a(y) = e^{-k|y|}$$

$$\Lambda = -\frac{6k^2}{\kappa^2} \quad < 0 \ ! \quad AdS_5$$

$a(y)$ PÁROS FOLYTONOS,

$a'(y)$ - NAK UGRÁSA VAN BRANEKEN

HATÁRFELTÉTEL, ISRAEL-LÁNCOS JUMP CONDITION

$$-3 \frac{a''}{a}\Big|_{\text{SZING.}} = \kappa^2 \left(V\delta(y) - V\delta(y-r_c) \right)$$

2 FINE TUNING RELÁCIÓ

$$V_0 = -V_{r_c}$$

$$\kappa^2 V^2 = -6\Lambda$$

$$\sim \quad V = \frac{6k}{\kappa^2}$$

$\Rightarrow$ SZTATIKUS, LAPOS EFFEKTÍV 4D UNIVERZUM

MEGOLDÁS: $\underline{AdS_5}$ SZELETEK (SLICE) A BRANEKNÉL ÖSSZEILLESZTVE

WARPING (GR. RED-SHIFT!)

TEREK (MEZŐK) 4 DIM POINCARÉ INV. MIATT SÍKHULLÁMOKKAL ÍRHATÓK LE.

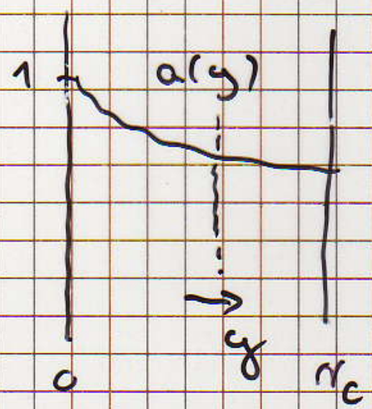
$$\phi = e^{i p_\mu x^\mu} \phi_p(y)$$

ÁLT. $y=0$ $a(0)=1$ POZ. BRANEN.

ITT x^μ VALÓS KOORDINÁTA

p^μ FIZIKAI IMPULZUS

MÁS y-PONTBAN



$$p^\mu_{FIZ} = a(y)\, p_\mu = e^{-ky} p_\mu$$

MÓDUSOK SZOFTABBAK A BULKBAN, MINT $y=0$.

ÉS FORDÍTVA: KEMÉNYEBBEK MINT $y=r_c$-BEN.

GRAVITÁCIÓS VÖRÖS-ELTOLÓDÁS!

EFFEKTÍV PLANCK SKÁLA

4 DIM HATÁS (E-H TAG)

$$S_{eff} \simeq \int d^4x \int_{-r_c}^{r_c} dy\, M_{(5)}^3\, e^{-2ky} \sqrt{g_{(4)}}\, R^{(4)}$$

$$M_{Pl}^2 = M_{(5)}^3 \cdot 2 \int_0^{r_c} e^{-2ky} = \frac{M_{(5)}^3}{k}\left(1 - e^{-2kr_c}\right)$$

NAGY $\underline{kr_c}$ NEM BEFOLYÁSOLJA $M_{Pl}^2 \sim \frac{(M_5)^3}{k}$ VISZONYÁT.

FONTOS AZ EFFEKTÍV TÖMEGSKÁLÁBAN

$$g_{\mu\nu}^{ind} = e^{-2kr_c}\, \eta_{\mu\nu} \qquad \left(g^{\mu\nu} = e^{+2kr_c}\, \eta^{\mu\nu} \right)$$

$$S_{\substack{BRANE \\ ANYAG}} = \int d^4x \sqrt{g_i}\left(g^{\mu\nu} D_\mu \phi D_\nu \phi - M_0^2 \phi^2 \right) =$$

$$= \int d^4x\, e^{-4kr_c}\left(e^{2kr_c}\, \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi - M^2 \phi^2 \right).$$

KANONIKUSAN NORMÁLT TÉR (KIN. TAG!)

$$\phi \to \tilde{\phi} = e^{-kr_c}\, \phi$$

$$S = \int d^4x \left(\partial_\mu \tilde{\phi} \partial^\mu \tilde{\phi} - M_0^2\, e^{-2kr_c}\, \tilde{\phi}^2 \right)$$

$$\to M_\phi = M_0\, e^{-kr_c}$$

GRAVITÁCIÓ FUNDAMENTÁLIS SKÁLÁJA ~ TEV $E \gtrsim \sim$ TEV

ERŐSEN KÖLCSÖNHATÓ GRAV.

ERŐSEN CSATOLT KK MÓDUSOK.

GRAVITON KK MÓDUSOK

EFFEKTÍV LEÍRÁS

KIS FLUKTUÁCIÓK HÁTTÉR KÖRÜL

(VÉGES MÓDUSIG KONZISZTENS LINEÁRIS KÖZELÍTÉS.)

$$g_{\mu\nu} = a^2(y)\left(\eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}(x,y)\right)$$

4-DIM SKALÁR MÓDUS EREJÉIG

RANDALL-SUNDRUM GAUGE VÁLASZTHATÓ

$$\tilde{h}^{\mu}_{\ \mu} = 0 \qquad \partial^{\mu}\tilde{h}_{\mu\nu} = 0 \qquad (TT)$$

ÁLT. MÓDSZER:

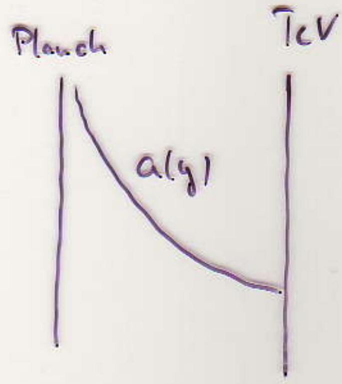
MÁSODRENDŰ DIFF. EGYENLET 2. B.C.

$$\frac{1}{2a^2}\left(a^4 \tilde{h}'_{\mu\nu}\right)' - \frac{1}{2}\Box \tilde{h}_{\mu\nu} = 0 \quad ; \quad h'_{\mu\nu}\Big|_{y_i} = 0$$

ZÉRÓ MÓDUS: $g_{\mu\nu} = a^2(y)\cdot \tilde{h}_{\mu\nu}(x)$ $M=0$ GRAVITON.

ÚJ RÉSZECSKÉK: GRAVITON KK MÓDUSOK

HÁTTÉR KÖRÜLI KIS FLUKTUÁCIÓK



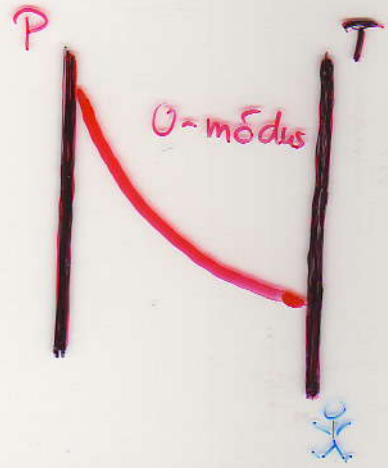
$$g_{\mu\nu} = a^2(y)\left(\eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}(x,y)\right)$$

+ 4 DIM SKALÁR MÓDUS (RADION)

EINSTEIN EGYENLETEK MEGOLDÁSA

ZÉRÓ MÓDUS $\sim a^2(y)\, h_{\mu\nu}(x)$

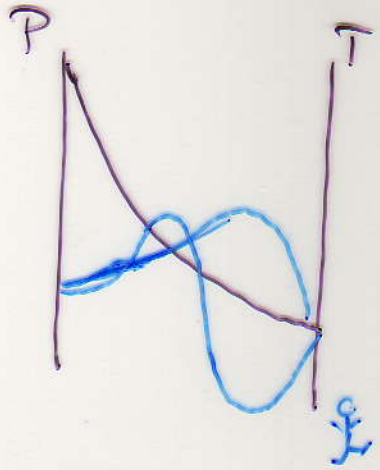
4 DIM. "GRAVITON", 2 helicitás áll.



KK MÓDUSOK, BESSEL FV-K TeV BRANRA LOKALIZÁLÓDNAK

$$\sim a(y)\, \overset{Y_2}{J_2}(my), \quad m_n^2 = k\, e^{-2kr_c}\, x_m$$

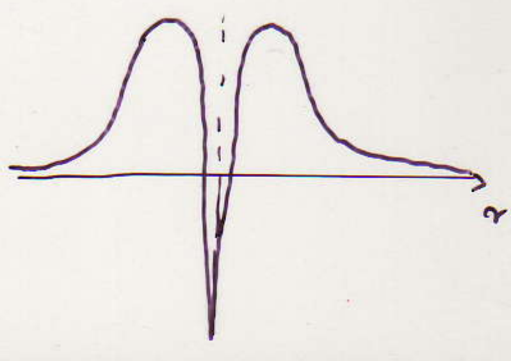
$$J_2(x_n) = 0$$



$m \sim \mathcal{O}(\mathrm{TeV})$ ($r_c \to \infty$ RSII. kontinuum)

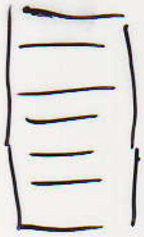
TeV Branhez közel lokalizálódnak kizárva a Planck braneről!

$\sim$ QM Vulkán potenciállal

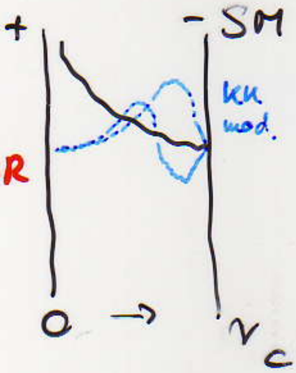


GRAVITÁCIÓ GYENGE:

ADD: FLUXUS KIFOLYIK NAGY EXTRA DIM-KBA



RS: SPEC. GRAVITON HULLÁMFV. ~ WARP FAKTOR



(PLANCK BRANRE)

GRAVITÁCIÓ MÁS HELYRE LOKALIZÁLÓDIK. KIS ÁTFEDÉS SM TEREKKEL, EXP. VÉGÉT LÁTJÁK.

RS EFF. 4 DIM. GRAVITÁCIÓ PLANCK BRANEN

SZTATIKUS m_1, m_2 tömegek

$$V(r) = G_N \frac{m_1 \cdot m_2}{r} \left(1 + \frac{1}{r^2 k^2} \right)$$

0-módus ↑   ↑ KK módusok

$r > \frac{1}{k} \sim \frac{1}{M_{Pl}} \rightsquigarrow$ 4 D grav.

KK MÓDUSOK (RS)

CSATOLÁS

$$L_{INT} \simeq \frac{1}{\Lambda} T^{\alpha\beta}_{SM} \sum_n{}' h^{(n)}_{\alpha\beta}$$

$$\Lambda = M_{Pl}\, e^{-k r_c} \sim \text{TeV}$$

KK SPEKTRUM

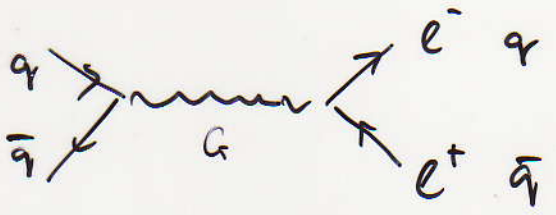
- $\mathcal{O}(\text{TeV})$ TÖMEG, ~ KÜLÖNBSÉG
- CSATOLÁS $\mathcal{O}\left(\frac{1}{\text{TeV}}\right)$
- EGYENKÉNT KELTHETŐ MÓDUSOK
- $\Gamma_G \sim m_{SM} \dfrac{m_g^3}{(M_{Pl}\, e^{-k r_c})^2}$

KÍSÉRLET:

(D, HEWETT, RIZZO) 9909255

LHC

TEVATRON



GRAVITON REZONANCIA KELTÉS.

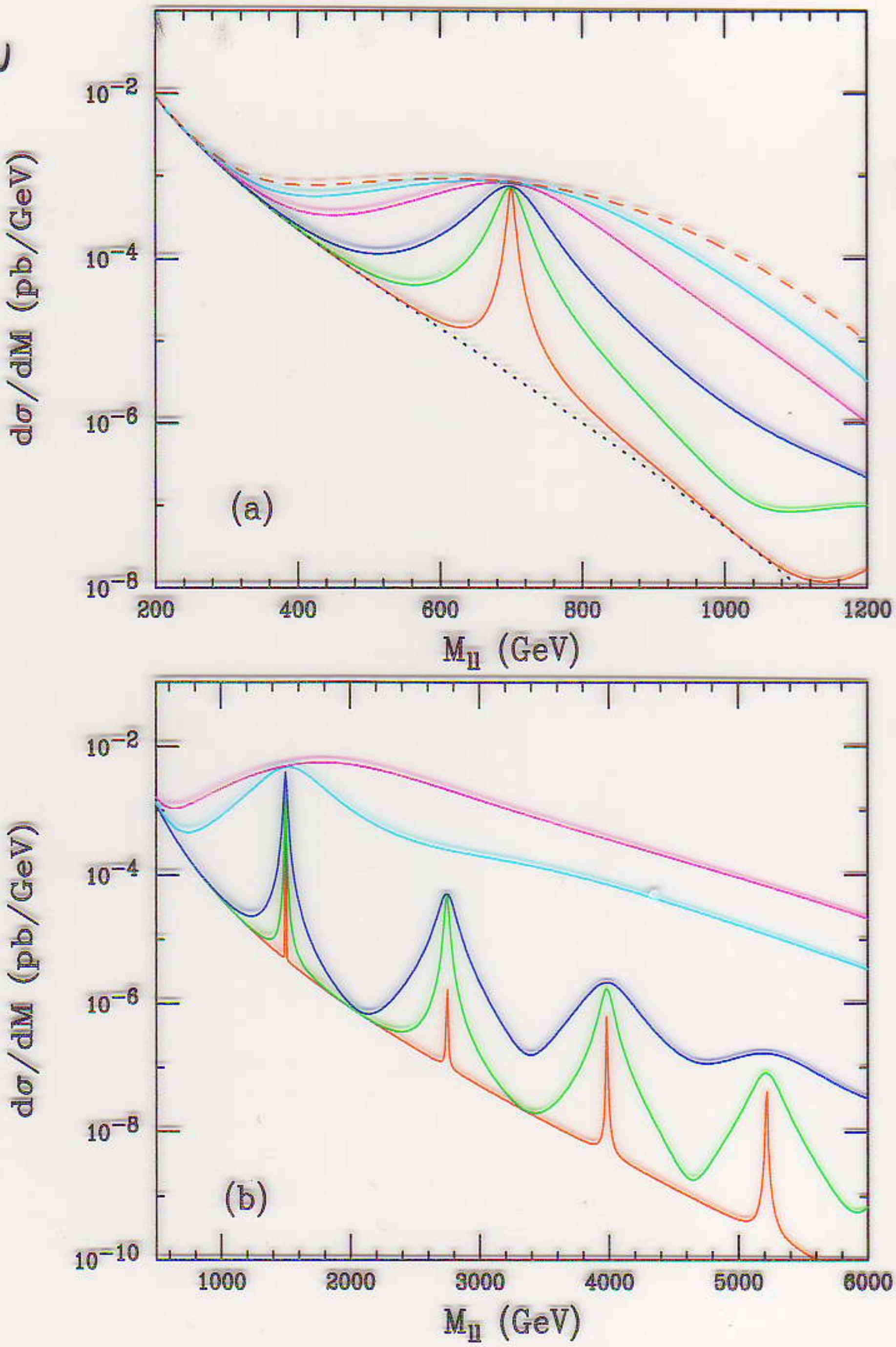
e^+e^- : TISZTA JEL.

KK GRAVITON DY PRODUCTION

TEVATRON

$M_{KK} \sim 700\,\text{GeV}$

k/M_{Pl}: 1, 0.7, 0.5, 0.3, 0.2, 0.1



LHC

$M_{KKg} \sim$

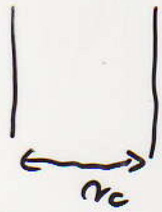
$\sim 1{,}5$ TeV

Figure 17: Drell-Yan production of a (a) 700 GeV KK graviton at the Tevatron with $k/\overline{M}_{Pl} =$ 1, 0.7, 0.5, 0.3, 0.2, and 0.1, respectively, from top to bottom; (b) 1500 GeV KK graviton and its subsequent tower states at the LHC. From top to bottom, the curves are for $k/\overline{M}_{Pl} =$ 1, 0.5, 0.1, 0.05, and 0.01, respectively.

DAVOUDIASL, HEWETT, RIZZO, ph/0006041

NULLA TÖMEGŰ RADION

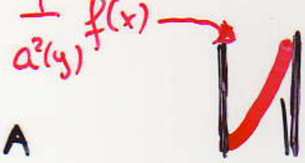
HÁTTÉR MEGOLDÁS $\forall$ r_c-RE



r_c TÁVOLSÁG SZABAD PARAMÉTER.

r_c FLUKTUÁCIÓK : 4 DIM.
M=0 SKALÁR TÉR EFF. ELMÉLETBEN

RADION



(EINSTEIN EGYENLETEK MEGOLDÁSA

$$\delta g_{ab} = a^2 h_{ab} = \begin{pmatrix} -f(x)\,\eta_{\mu\nu} & \\ & -2f(x) \end{pmatrix} \qquad \Box f = 0 \quad)$$

TeV branre lokalizálódik! Ch GREGORY-RUBAKOV 99 DEC

ELFOGADHATATLAN :

RADION CSATOLÓDIK BRANE TEREKHEZ

- BRANS-DICKE GRAVITÁCIÓ
  NEM EINSTEIN 4D.

- NEM SZOKÁSOS KOZMOLÓGIA FRW
  (FREEDMAN-ROBERTSON-WALKER)

- GYORSÍTÓK M=0 SKALÁR?

TÖMEGET KELL ADNI A RADIONNAK

= r_c STABILIZÁCIÓ.

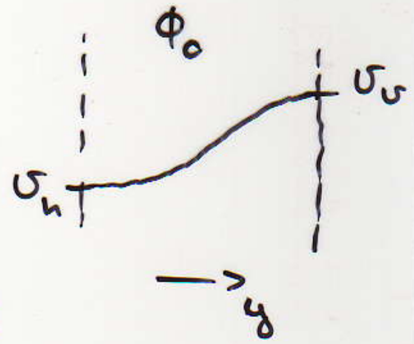
GOLDBERGER - WISE STABILIZÁCIÓ

EFF. RADION POTENCIÁLT GENERÁLNI
ADJUNK + BULK SKALÁR TERET ϕ
SPECIÁLIS BRANE POTENCIÁLLAL

$$S_\phi = \frac{1}{2}\int d^5x \sqrt{g}\left(g^{ab}\,\partial_a\phi\,\partial_b\phi - m^2\phi^2 \right) +$$
$$+ \int d^4x \sqrt{g_i}\;\lambda_h\left(\phi^2 - v_h^2\right)^2 +$$
$$+ \int d^4x \sqrt{g_i}\;\lambda_v\left(\phi^2 - v_v^2\right)^2 .$$

NAGY λ_h, λ_v LIMESZBEN HÁTTÉR MEGOLDÁS

$\phi_0(0) = v_h \qquad \phi_0(r_c) = v_v$



$v_h \neq v_v$ VERSENGŐ FOLYAMATOK

KINETIKUS TAG NAGY r_c

POTENCIÁL TAG KIS r_c

ÁLT. NEHÉZ A METRIKÁRA VISSZAHATÁST KISZÁMOLNI, $\wedge$ FINOM HANGOLÁST FELOLD!

TISZTA FIZIKAI KÉP.

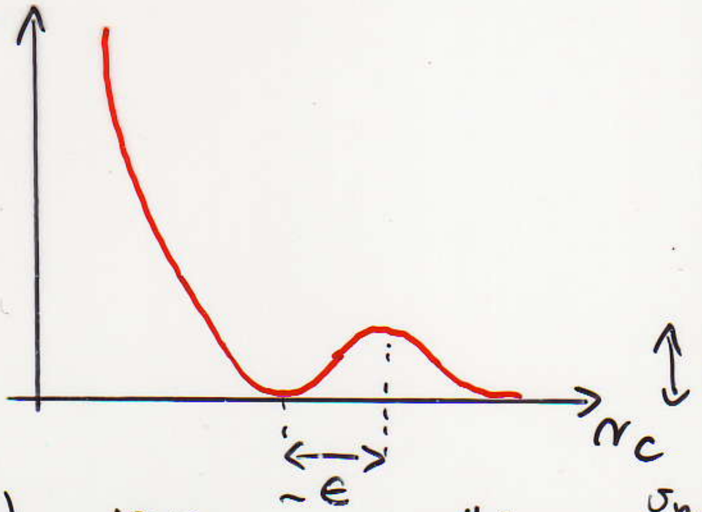
EFFEKTÍV POTENCIÁL

$kr_c \gg 1$

$r_c \to T(x)\, r_c$ MODULUS

$$V(r_c) = k\epsilon v_h^2 + 4k e^{-4kr_c}\left(v_v - v_h e^{-\epsilon k r_c}\right)^2\left(1+\frac{\epsilon}{4}\right)$$
$$- k\epsilon v_h e^{-(4+\epsilon)kr_c}\left(2v_v - v_h e^{-\epsilon k r_c}\right)^2 + \mathcal{O}(\epsilon^2)$$

$\epsilon \simeq \frac{m_s^2}{4k^2}$



$\frac{1}{\lambda_i}$ korrekciók min. helyét nem lényegesen tolják el, $\mathcal{O}(\epsilon)$

Min.

$$kr_c \simeq \frac{4}{\pi}\frac{k^2}{m^2}\ln\left(\frac{v_h}{v_v}\right) \sim 10\text{-}12$$

Példa: $\frac{v_h}{v_v} = 1.5 \quad \frac{k^2}{m^2} = 0.2$ ✓

— o —

EGZAKT MEGOLDHATÓ MODELL

de Wolfe, Freedman, Gubser, Karch

$$\int d^5x \sqrt{g}\left(-M^3 R + \frac{1}{2}\nabla\phi\nabla\phi - V(\phi)\right) -$$
$$- \int d^4x \sqrt{g_i}\, \lambda_P(\phi) - \int d^4x \sqrt{g_i}\, \lambda_T(\phi)$$

POINCARÉ INV. METRIKA

$$ds^2 = a^2(y)\,\eta_{\mu\nu}\,dx^\mu dx^\nu - dy^2$$

EINSTEIN EGYENLETEK SZÉTCSATOLÓDNAK:

$$V(\phi) = \frac{1}{8}\left(\frac{\partial W}{\partial \phi}\right)^2 - \frac{k^2}{6} W^2(\phi)$$

$$\phi_0' = \frac{1}{2}\frac{\partial W}{\partial \phi}$$

$$\frac{a'}{a} = -\frac{k^2}{6} W(\phi_0)$$

AUTOMATIKUSAN MEGOLDÁS HA A B.C. TELJESÜL:

$$\lambda_\pm(\phi) = \pm W(\phi_\pm)$$

$$\frac{d\lambda_\pm}{d\phi}(\phi) = \pm \frac{dW}{d\phi}(\phi_\pm)$$

MEGOLDÁS: $W(\phi) = \frac{6k}{k^2} - u\phi^2$

SPEC. $\lambda_\pm(\phi) = \pm W(\phi_\pm) \pm W'(\phi_\pm)(\phi - \phi_\pm) + \gamma_\pm^2 (\phi - \phi_\pm)^2$

$$\phi_0(y) = \phi_p e^{-uy}$$

$$a(y) = \exp\left(-ky - \frac{k^2 \phi_p^2}{12} e^{-2uy}\right)$$

ϕ VISSZAHATÁS METRIKÁRA

BRANE TÁVOLSÁG:

$$e^{-u r_c} = \frac{\phi_T}{\phi_p}$$

FINOM HANGOLÁSOK

RS1 2 TUNING:

- $\Lambda_{4D} = 0$ $\sim \Lambda_{5D} \sim \lambda_1 \cdot \lambda_2$

- SZTATIKUS MEGOLDÁS ELTŰNŐ $V(r_c)$. $\lambda_1 = -\lambda_2$

STABILIZÁLT RADION

=> 1 TUNING. $(\Lambda_{4D} = 0)$

λ_1 λ_2

- G.W.:

  PERTURBÁLVA $\lambda_1 \to \lambda_1 + \delta\lambda_1$

  $V_{eff}(r_c)$ VAN MINIMUMA.

  CSAK 1 HANGOLÁS KELL

  $$\lambda_2 \to \lambda_2 + \delta\lambda_2 ,$$

  HOGY $\Lambda_{EFF,4D}$ NULLA LEGYEN.

  $r_c \to r_c + \Delta r_c$ VÁLTOZIK CSAK.

- VILÁGOS GUBSER MÓDSZERBŐL IS.

GW 5DIM EINSTEIN EGY.

RÖGZÍTVE A $x^a \to x^a, \xi^a$
MÉRTÉK SZABADSÁGOT
FELTÉTELEZVE A PERTURBÁCIÓK
LORENTZ KOVARIÁNS VOLTÁT:

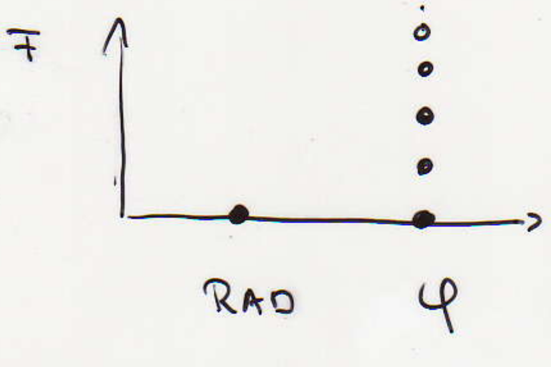
$$g_{ab} = \begin{pmatrix} a^2(y)\left(\eta_{\mu\nu} + \tilde{h}_{\mu\nu} - F(x,y)\right) & \\ & -1-2F(x,y) \end{pmatrix}$$

$$\Phi = \Phi_0(y) + \varphi(x,y) \qquad (T = G)$$

$$\frac{2k^2}{3}\Phi_0' \varphi = F' + 2\frac{a'}{a}F$$

$\tilde{h}_{\mu\nu}(x,y)$ GRAVITON, Ø + KK TOWER

$F(x,y)$: RADION ÉS SKALÁR TÉR



GRAVITON

$$\frac{1}{2a^2}\left(a^4 \tilde{h}'_{\mu\nu}\right)' - \frac{1}{2}\Box \tilde{h}_{\mu\nu} = 0 \quad , \quad \tilde{h}'_{\mu\nu} = 0$$

MINT RS, DE ÁLT $a(y)$ WARP FAKTOR.

$M=0$ GRAVITON, "4D".

$$\tilde{h}^{G}_{\mu\nu}(x)$$

KK MÓDUSOK: ~ TEV TÖMEG, $\frac{1}{\text{TEV}}$ CSATOLÁS

SKALÁR EGYENLET

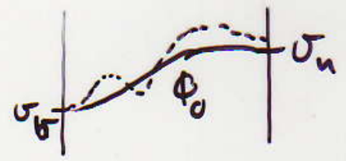
$$F'' + 2\frac{a'}{a}F' + 4\left(\frac{a'}{a}\right)'F - 2\frac{\phi_c''}{\phi_c'}F' - 4\frac{a'}{a}\frac{\phi_c''}{\phi_c'}F = \frac{1}{a^2}\Box^{(4)}F$$

+ 2 B.C. $\quad (a^2F)'' - \left(2\frac{a'}{a} + \frac{\phi_c''}{\phi_c'} \pm \frac{1}{2}\frac{d^2\lambda_i}{d\phi^2}\right)(a^2F)' + 2\left(\frac{a'}{a}\right)' a^2F = 0$

HATÁRFELTÉTEL, HERMITIKUS OPERÁTOR

CSAK SPEC. HATÁRESETBEN,
- FIX BRANE POTENCIÁL
- BPS BR.

$$\gamma_i = \frac{d^2\lambda_i}{d\phi^2} \to \infty$$



$$\sim \varphi|_i = 0 \qquad F' + 2\frac{a'}{a}F = 0.$$

=> SCHRÖDINGER FORMÁRA HOZHATÓ.

RADION DINAMIKA

- 4D RADION EFFEKTÍV HATÁS, NAÍV ANSATZ

$r_c \to T(x) r_c$

$$ds^2 = e^{-2kT(x)|y|} \left(\eta_{\mu\nu} + \tilde{h}_{\mu\nu}(x) \right) dx^\mu dx^\nu + T^2(x) dy^2$$

GRAVITON + (RADION MIX.)

S_{eff}, KANONIKUSAN NORMÁLT RADION

$$R(x) = T(x) \sqrt{6k}\, e^{-kr_c}$$

- RADION TÖMEG (V''_{eff} -BÓL)

$$M_R^2 = \frac{V''_{eff}(r_c)}{6k^2 M_{Pe}^2 e^{-2kr_c}} \sim \epsilon^{3/2} \left(M_{Pe} e^{-kr_c} \right)^2 \lesssim TeV^2$$

GW$_I$; $\epsilon = \frac{m_S^2}{4k^2}$

$M_R \sim 10\,\text{GeV} - 1\,\text{TeV}$

RADION LEGKÖNNYEBB RÉSZECSKE => KÍSÉRLET

- VAGY 5 DIM. MEGOLDÁS

KIS VISSZAHATÁSSAL JÓ KÖZELÍTÉS.

- NAÍV ANSATZ JÓ, MERT $T(x)$ ÁTFED "IGAZI 5D" RADIONNAL $S_{eff} = \int dy (\ldots)$ KICSÍPI A FIZIKAI RADION RÉSZT.

RADION SM CSATOLÁSOK

$m_r \sim 10\,\text{GeV} - 1\,\text{TeV}$

$$F(x,y) = e^{2ky}\left(1+\varepsilon^2 f_0(y)\right) r(x)$$

KINETIKUS TAGBÓL KANONIKUSAN NORMÁLT RADION

$$r(x) = R(x)\,\frac{e^{-kr_0}}{\sqrt{6}\,M_{Pl}}$$

SM CSATOLÁSOK: $\left(-g^{\mu\nu}T_{\mu\nu}\text{-ből} \right)$

$$r(x)\,e^{2kr_0}\,\mathrm{Tr}\,T = \frac{R(x)}{\sqrt{6}\,M_{Pl}\,e^{-kr_0}}\,\mathrm{Tr}\,T \qquad \checkmark$$

$\frac{1}{\text{TeV}}$ CSATOLÁS.

— ∘ —

MEGJ. NAÍV SZÁMOLÁS

$$\phi\,\frac{\delta S_{SM}}{\delta \phi} = \phi\,\frac{\delta S_{SM}}{\delta g^{\mu\nu}}\,\frac{\delta g^{\mu\nu}}{\delta \phi} = -\phi\sqrt{g}\,T^{\mu}_{\mu}\,\frac{a'}{a}\Big|_{r_c}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{r}{\sqrt{6}\,\Lambda_W}\qquad \frac{\phi}{v}\;T^{\mu}_{\mu}}$$

$$\Lambda_W = \langle \phi \rangle = 2\sqrt{\frac{6M_5^3}{k}}\,e^{-kr_c}$$

RADION FENOMENOLÓGIA

GIUDICE - RATTAZZI - WELLS , MAHANTA , ...

$$L_{INT} = \gamma \frac{\Phi}{v} T^{\mu}_{\mu} \qquad \gamma = \frac{v}{\sqrt{6}\Lambda_W} \sim 0.1$$

$\mathcal{O}(\text{TeV})$ skála : $\Lambda_W \sim M_P e^{-k r_c}$

FA GRÁF:

$$T^{\mu}_{\mu} = \sum_f m_f \bar{\psi}\psi + 2M_Z^2 Z^{\mu} Z_{\mu} + M_W^2 W^+ W^- + + 2m_h^2 H^2$$

$\gamma \times$ HIGGS CSATOLÁSOK!

T^{μ}_{μ} TRACE ANOMÁLIA (VEZETŐ!)

GLUON, FOTON CSAT. ERŐSEBB

$$\mathcal{L}_{\phi gg} = \frac{\gamma}{v} \frac{\beta(g_s)}{2g_s} \phi \, G^{a\mu\nu} G_{a\mu\nu}$$

$$\mathcal{L}_{\phi\gamma\gamma} = \frac{\gamma}{v} \frac{\beta(e)}{2e} \phi \, F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$$

$\Rightarrow$ VEZETŐ JÁRULÉK.

RADION KELTÉS

$\Lambda_W \simeq 1$ TeV $\qquad pp \to \phi$

NAGYOBB, MINT $pp \to h$ LHC-BAN

EGYESÉVEL KELTHETŐ

R. BOMLÁS

$\phi \to \gamma\gamma$ TRACE ANOMÁLIA

NAGYOBB, MINT $h \to \gamma\gamma$

TOVÁBBI CSATOLÁSA BRANEN

SZIMM. ENGEDÉLYEZETT DIM-4 OP.

$$-\int \sqrt{g_i}\; R^{(ind)}\, \frac{\xi}{2} \left(H^\dagger H\right)$$

$\Rightarrow$ ξ FÜGGŐ KEVEREDÉS $\phi - H$

HIGGS FENOMENOLÓGIA IS VÁLTOZIK.

GRW: LHC TESZTELI A STAB. RS MODELLT, RELEVÁNS-E A HIER. P.

RADION

BR. ARÁNYOK

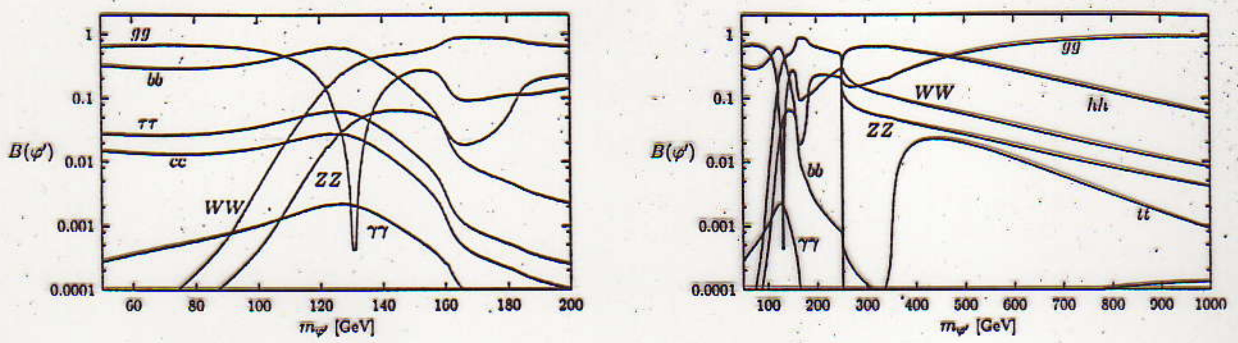


Figure 6: Branching fractions of φ' as a function of its mass given $m_h = 125\,\text{GeV}$, $\Lambda_\varphi = 10\,\text{TeV}$ and $\xi = 1/6$. The left and right panels are the same except a different range in radion mass is covered.

KELTÉS LHC-N VS. SM-HIGGS

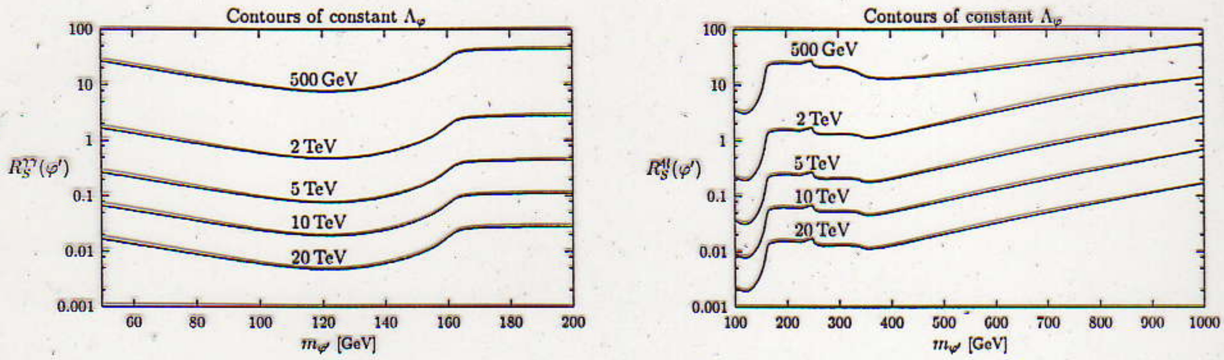


Figure 9: Plots of the ratio of radion signal significance to the signal significance of a SM Higgs boson of the same mass in the $\gamma\gamma$ and $4l$ channels. These plots are made for $\xi = 0$ and $m_{h'} = 125\,\text{GeV}$. The different lines on the graph represent various choices of constant Λ_φ

GIUDICE, RATTAZZI, WELS NPB 595, 250-, 2001.

HOL ÉLHETNEK A SM TEREK?

ADD: LEVÁGÁS ~ TEV.

RS: NEM EGYSZERŰ, DE TEV BRANEN

KANONIKUS ALAKBAN $M_{Pl} \to e^{-kr_c} M_{Pl} \sim$ TEV
DIM-S PARAMÉTEREK ELNYOMVA!

LEVÁGÁST QUANTUM GRAVITÁCIÓ ÁLLÍTJA BE!

VESZÉLYES MAGASABB DIM-ÓS OPERÁTOROK $\frac{1}{M^n}$!

PROTONBOMLÁS (D-6) $\frac{qqql}{M^2}$ $\tau \sim \frac{M^4}{m_p^5}$ $M \gtrsim 10^{16}$ GeV

LEPTONSZÁM SÉRTÉS (D-5) $\frac{(HL)^2}{M}$ $\sim m_{\nu\,\text{Majorana}}$ nagy $M \gtrsim 10^{13}$ GeV

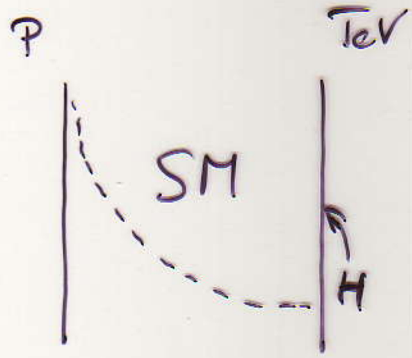
FCNC $\frac{d\bar{s}d\bar{s}}{M^2}$ nagy $K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$ keveredés

$\cancel{CP}$ ....

EGZAKT SZIMMETRIÁVAL NEM TILTHATÓK LE

$\Rightarrow$ SM TEREK BULKBAN

CSAK HIGGS (HIERARCHIA P.) TEV BRANEN



$\to$ RENGETEG VÁLTOZAT, ÁLTALÁNOS:

KK GAUGE BOZONOK

(LÉTEZŐ Z' TEVATRON KORLÁTOK.
$\gtrsim \mathcal{O}$(600-700 GEV)

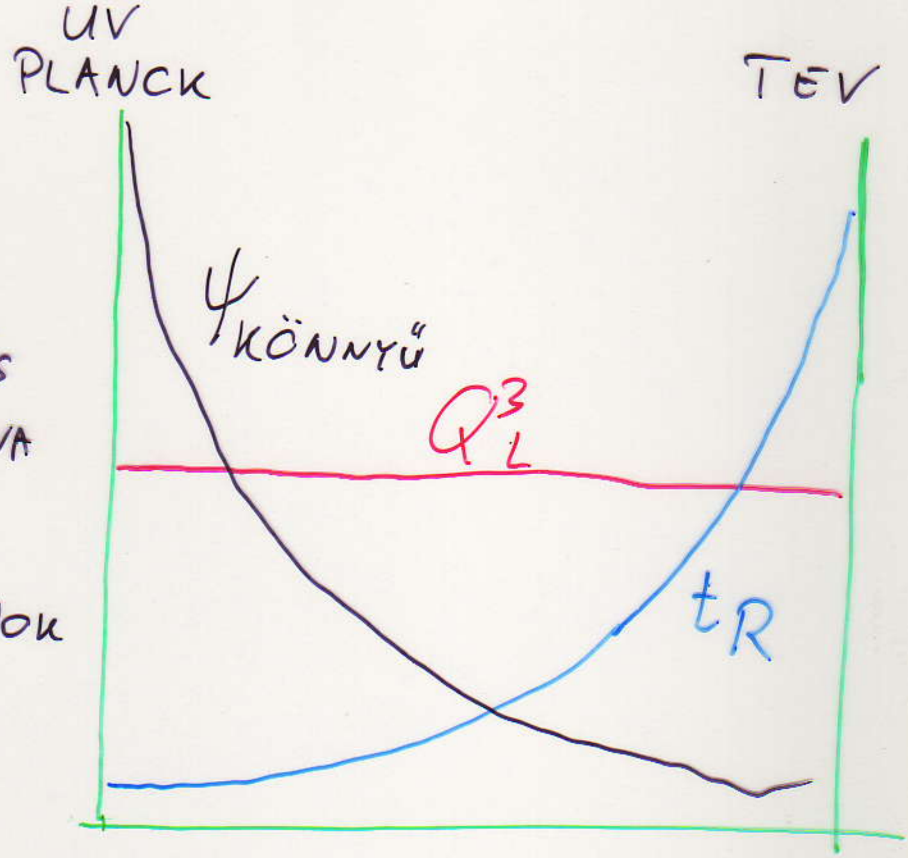
SM BULKBAN: ELŐNYÖK

- M_Ψ HIERARCHIÁT GENERÁL
- TEV BRANEN ÁTFEDÉS EXPONENCIÁLISAN ELNYOMVA
- 5D NEM χ FERMIONOK

→ HATÁRFELTÉTELLEL L, R KIVÁLASZTANI

↓

- MODELLFÜGGŐ VÁLTOZATOK
- t_L VAGY t_R MINDIG TEV-BRANRE LOKALIZÁLÓDIK

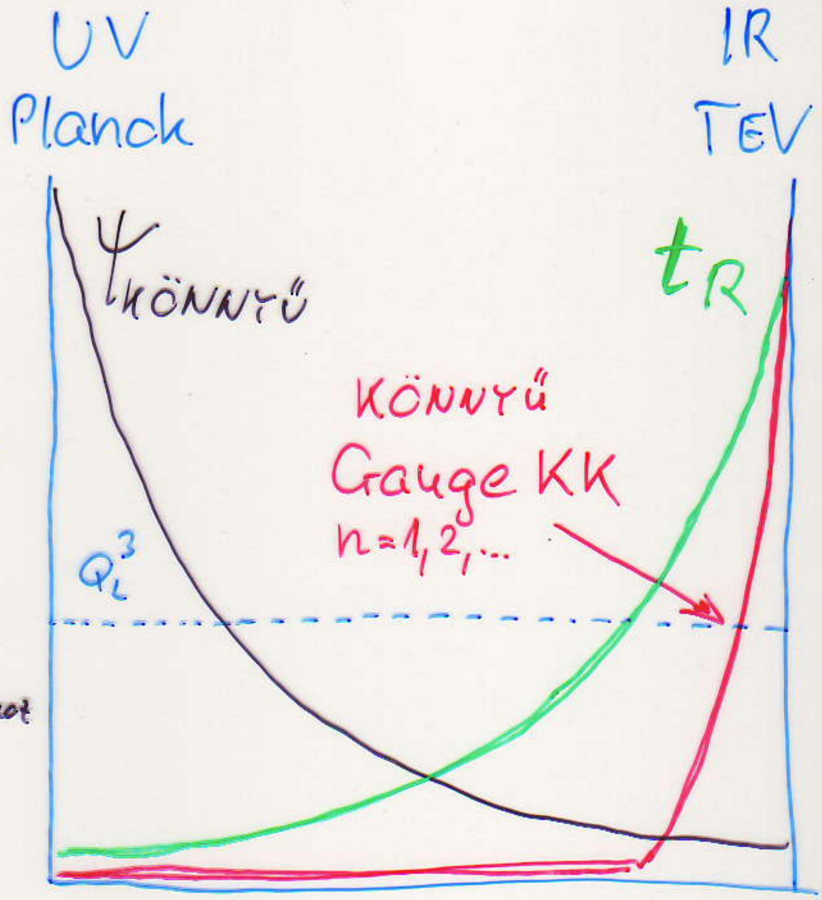


GAUGE KK CSATOLÁSOK

- LHC színérzékeny
  ↓
- gluon KK-k
- ERŐS TOP
  (~BOTTOM) CSATOLÁS
- GYENGE CSATOLÁS
  KÖNNYŰ FERMIONOKNAK

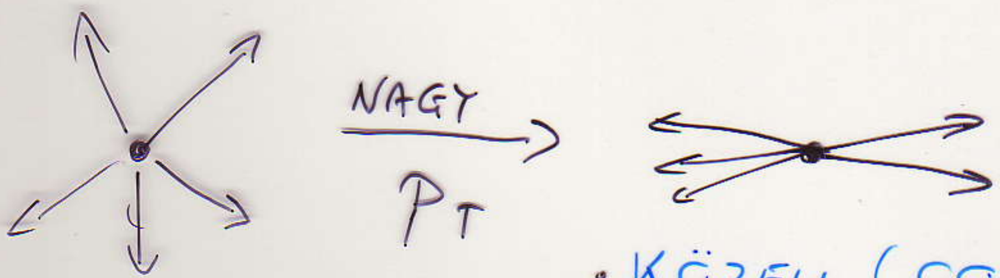
$$g_{t\bar{t}A} \simeq 4\, g_{SM}$$

$$g_{f\bar{f}A} \simeq -\frac{1}{5}\, g_{SM}$$



⇒ MINDEN GAUGE KK FŐKÉNT $t\bar{t}$-BA BOMLIK

M_{KK} REZONANCIA $\gtrsim$ 2-3 TEV



- KÖZELI (COLLIMATED) JETEK

→ HAGYOMÁNYOS TOP-KERESÉS NEM MŰKÖDIK

→ NAGY ENERGIÁJÚ TOP KERESÉS

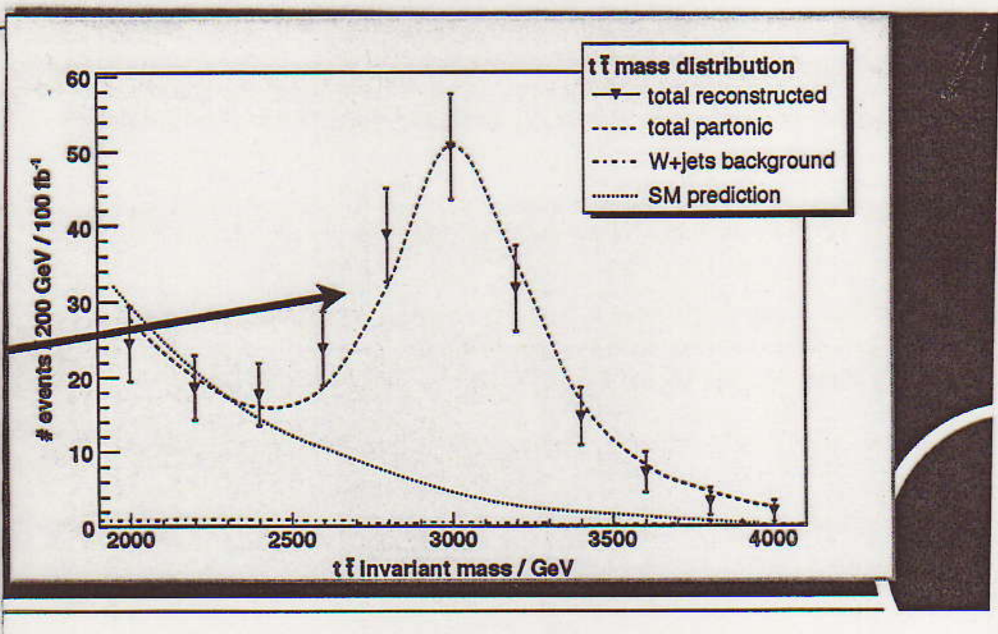
AGASHE, BELJAJEV, LILLIE, TAIT
06 12015 07.06

TOP - JETEK KERESÉSE

Pl. lepton + HIÁNYZÓ E

lepton - bottom izoláció fontos

KK GLUON REZ.



KK GLUON REZONANCIA

•• b' KERESÉS

JET - TÖMEG ALAPJÁN DÖNTÉS

MENNYIRE ROBOSZTUS?

••• ÖSSZ - HADRONIKUS CSATORNA.

→ KÍSÉRLETI KÉRDÉSEK!

KONKLÚZIÓK

- LHC TESZTELI A TEV SKÁLA FIZIKÁJÁT
  SM → ÚJ FIZIKA, VAGY "TERMÉSZETELLENES"
- A HIERARCHIA PROBLÉMA (EXTRA DIMENZIÓS)
  MEGOLDÁSAI TESZTELHETŐK LHC-n.
- EXTRA DIMENZIÓK RÉGI-ÚJ LEHETŐSÉGEKET
  ADNAK A MODELL ÉPÍTÉSRE
- LHC MEGMUTATJA AZ ELEKTROGYENGE
  SZIMMETRIASÉRTÉS TERMÉSZETÉT ÉS VÁLASZT
  ADHAT TOVÁBBI KÉRDÉSEKRE
  - SÖTÉT ANYAG
  - VAN-E ALACSONY ENERGIÁS SUSY
  - ? KVANTUM GRAVITÁCIÓ?
  - ÚJ, VÁRATLAN JELENSÉGEK.
- MARAD: HOLOGRAFIKUS NYELV, GONDOLKODÁS
  EGYSZERŰBB LEHET!