

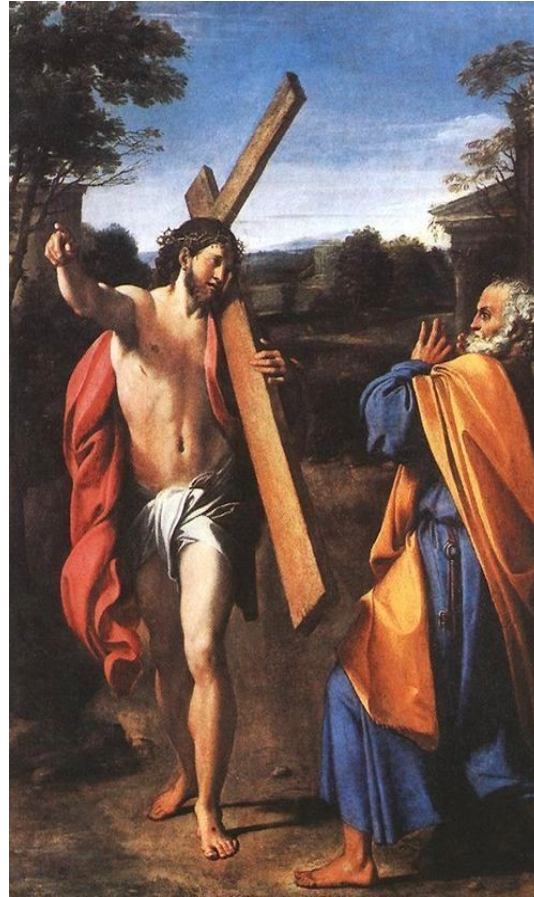


Quo vadis, theoria chordarum?
A húrelmélet státusza és perspektívái

Takács Gábor
MTA-ELTE Elméleti Fizikai Kutatócsoport

Szkeptikus klubest
2012. február 21.

Quo vadis, Domine?



Venio Romam iterum crucifigi.

Péter cselekedetei, XXXV.

A kezdetek

Erős kölcsönhatások a 60-as években

Az elektromágneses mező kvantumelmélete

QED: rendkívül sikeres (perturbációs számítás)

De ezt nem sikerült leutánozni...

Probléma: ***kölcsönhatás túl erős!***

Még az is felmerült, hogy a kvantumtérelmélet (QFT) egyszerűen nem is alkalmazható...

Hadronok = mezonok + barionok

Mezonok táblázata

Ez mind elemi lenne?

Yukawa-elmélet:
 π mint közvetítő

Geoffrey Chew:
Nukleáris demokrácia

“Minden hadron egyenlő!”

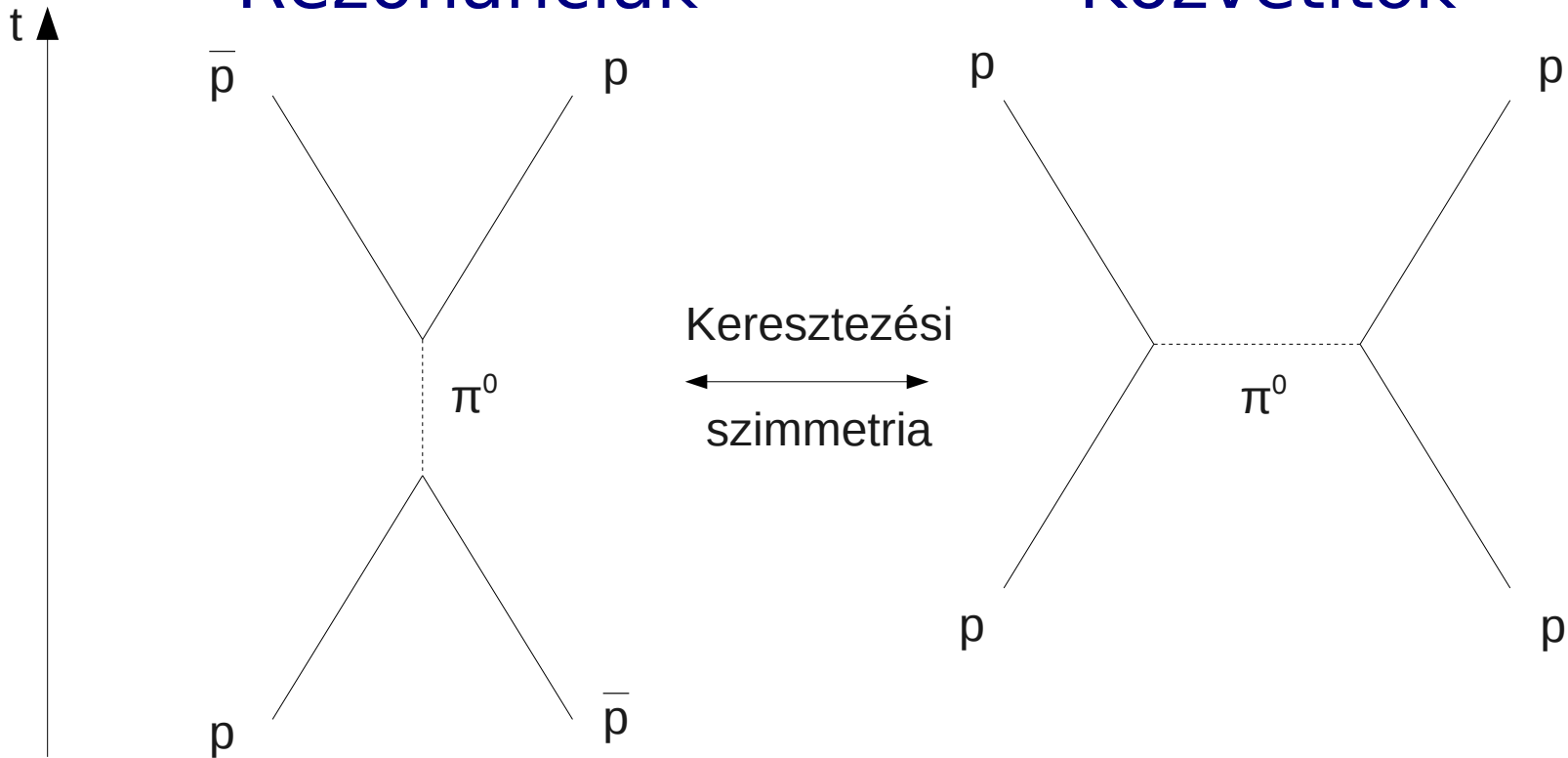
LIGHT UNFLAVORED (S = C = B = 0)		STRANGE (S = ±1, C = B = 0)		CHARMED, STRANGE (C = S = ±1)		$c\bar{c}$ J^PC			
J^PC	J^PC	J^PC	J^PC	J^PC	J^PC	J^PC	J^PC		
• π^\pm 1 ⁻ (0 ⁻)	• $\pi_2(1670)$ 1 ⁻ (2 ⁻⁺)	• K^\pm 1/2(0 ⁻)	• D_s^\pm 0(0 ⁻)	• $\eta_c(1S)$ 0 ⁺ (0 ⁻⁺)	• $J/\psi(1S)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $\eta_c(1S)$ 0 ⁺ (0 ⁻⁺)	• $J/\psi(1S)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)		
• π^0 1 ⁻ (0 ⁻⁺)	• $\phi(1680)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• K^0 1/2(0 ⁻)	• $D_s^{*\pm}$ 0(? [?])	• $\chi_{c0}(1P)$ 0 ⁺ (0 ⁺⁺)	• $\chi_{c0}(1P)$ 0 ⁺ (0 ⁺⁺)	• $\chi_{c1}(1P)$ 0 ⁺ (1 ⁺⁻)	• $\chi_{c1}(1P)$ 0 ⁺ (1 ⁺⁻)		
• η 0 ⁺ (0 ⁻⁺)	• $\rho_3(1690)$ 1 ⁺ (3 ⁻ -)	• K_S^0 1/2(0 ⁻)	• $D_{s0}^+(2317)^\pm$ 0(0 ⁺)	• $\chi_{c1}(1P)$ 0 ⁺ (1 ⁺⁻)	• $\chi_{c1}(1P)$ 0 ⁺ (1 ⁺⁻)	• $h_c(1P)$? [?] (1 ⁺⁻)	• $h_c(1P)$? [?] (1 ⁺⁻)		
• $f_0(600)$ 0 ⁺ (0 ⁺⁺)	• $\rho(1700)$ 1 ⁺ (1 ⁻ -)	• K_L^0 1/2(0 ⁻)	• $D_{s1}^\pm(2460)^\pm$ 0(1 ⁺)	• $\chi_{c2}(1P)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $\chi_{c2}(1P)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $\eta_c(2S)$ 0 ⁺ (0 ⁻⁺)	• $\eta_c(2S)$ 0 ⁺ (0 ⁻⁺)		
• $\rho(770)$ 1 ⁺ (1 ⁻ -)	• $a_2(1700)$ 1 ⁻ (2 ⁺⁺)	• $K_0^*(800)$ 1/2(0 ⁺)	• $D_{s1}(2536)^\pm$ 0(? [?])	• $\psi(2S)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $\psi(2S)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $\psi(3770)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $\psi(3770)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)		
• $\omega(782)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $f_0(1710)$ 0 ⁺ (0 ⁺⁺)	• $K^*(892)$ 1/2(1 ⁻ -)	• $D_{s2}(2573)^\pm$ 0(? [?])	• $X(3872)$ 0 [?] (? ? [?])	• $X(3872)$ 0 [?] (? ? [?])	• $\chi_{c2}(2P)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $\chi_{c2}(2P)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)		
• $\eta'(958)$ 0 ⁺ (0 ⁻⁺)	• $\eta(1760)$ 0 ⁺ (0 ⁻⁺)	• $K_1(1270)$ 1/2(1 ⁺)	• $D_{s1}(2700)^\pm$ 0(1 ⁻)	• $X(3945)$? [?] (? ? [?])	• $X(3945)$? [?] (? ? [?])	• $\psi(4040)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $\psi(4040)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)		
• $f_0(980)$ 0 ⁺ (0 ⁺⁺)	• $\pi(1800)$ 1 ⁻ (0 ⁻⁺)	• $K_1(1400)$ 1/2(1 ⁺)	BOTTOM (B = ±1)				• $\psi(4160)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $\psi(4160)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	
• $a_0(980)$ 1 ⁻ (0 ⁺⁺)	• $f_2(1810)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $K^*(1410)$ 1/2(1 ⁻ -)							
• $\phi(1020)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $X(1835)$? [?] (? ? [?])	• $K_0^*(1430)$ 1/2(0 ⁺)	• B^\pm 1/2(0 ⁻)	• B^0 1/2(0 ⁻)	• B^\pm/B^0 ADMIXTURE	• $\psi(4260)$? [?] (1 ⁻ -)	• $\psi(4260)$? [?] (1 ⁻ -)		
• $h_1(1170)$ 0 ⁻ (1 ⁺⁻)	• $\phi_3(1850)$ 0 ⁻ (3 ⁻ -)	• $K_2^*(1430)$ 1/2(2 ⁺)	• B^+ / B^0 ADMIXTURE	• $B^+ / B^0 / B_s^0 / b$ -baryon ADMIXTURE	V_{cb} and V_{ub} CKM Matrix Elements	• $X(4360)$? [?] (1 ⁻ -)	• $X(4360)$? [?] (1 ⁻ -)		
• $b_1(1235)$ 1 ⁺ (1 ⁺⁻)	• $\eta_2(1870)$ 0 ⁺ (2 ⁻⁺)	• $K_2(1460)$ 1/2(0 ⁻)	• B^* 1/2(1 ⁻ -)	• $B_s^*(5732)$?(? [?])	• B_s^* 1/2(1 ⁻ -)	• $\psi(4415)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $\psi(4415)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)		
• $a_1(1260)$ 1 ⁻ (1 ⁺⁻)	• $\pi_2(1880)$ 1 ⁻ (2 ⁻⁺)	• $K_2(1580)$ 1/2(2 ⁺)	BOTTOM, STRANGE (B = ±1, S = ∓1)				$b\bar{b}$		
• $f_2(1270)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $\rho(1900)$ 1 ⁺ (1 ⁻ -)	• $K_2(1630)$ 1/2(? [?])							
• $f_1(1285)$ 0 ⁺ (1 ⁺⁻)	• $f_2(1910)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $K_1(1650)$ 1/2(1 ⁺)	• B_s^0 0(0 ⁻)	• B_s^+ 0(1 ⁻ -)	• $B_{s1}(5830)^0$ 1/2(1 ⁺)	• $\eta_b(1S)$ 0 ⁺ (0 ⁻⁺)	• $\eta_b(1S)$ 0 ⁺ (0 ⁻⁺)		
• $\eta(1295)$ 0 ⁺ (0 ⁻⁺)	• $f_2(1950)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $K^*(1680)$ 1/2(1 ⁻ -)	• $B_1(5721)^0$ 1/2(1 ⁺)	• $B_2^*(5747)^0$ 1/2(2 ⁺)	• $T(15)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $\chi_{b0}(1P)$ 0 ⁺ (0 ⁺⁺)	• $\chi_{b0}(1P)$ 0 ⁺ (0 ⁺⁺)		
• $\pi(1300)$ 1 ⁻ (0 ⁻⁺)	• $\rho_3(1990)$ 1 ⁺ (3 ⁻ -)	• $K_2(1770)$ 1/2(2 ⁻)	BOTTOM, CHARMED (B = C = ±1)				• $\chi_{b1}(1P)$ 0 ⁺ (1 ⁺⁻)	• $\chi_{b1}(1P)$ 0 ⁺ (1 ⁺⁻)	
• $a_2(1320)$ 1 ⁻ (2 ⁺⁺)	• $f_2(2010)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $K_3^*(1780)$ 1/2(3 ⁻ -)							
• $f_0(1370)$ 0 ⁺ (0 ⁺⁺)	• $f_0(2020)$ 0 ⁺ (0 ⁺⁺)	• $K_2(1820)$ 1/2(2 ⁻)	• B_c^\pm 0(0 ⁻)	NON- $q\bar{q}$ CANDIDATES				• $\chi_{b2}(1P)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $\chi_{b2}(1P)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)
• $h_1(1380)$? ⁻ (1 ⁺⁻)	• $a_4(2040)$ 1 ⁻ (4 ⁺⁻)	• $K(1830)$ 1/2(0 ⁻)							
• $\pi_1(1400)$ 1 ⁻ (1 ⁺⁻)	• $f_4(2050)$ 0 ⁺ (4 ⁺⁺)	• $K_0^*(1950)$ 1/2(0 ⁺)	NON- $q\bar{q}$ CANDIDATES				• $T(2S)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $T(2S)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	
• $\eta(1405)$ 0 ⁺ (0 ⁻⁺)	• $\pi_2(2100)$ 1 ⁻ (2 ⁻⁺)	• $K_2^*(1980)$ 1/2(2 ⁺)							
• $f_1(1420)$ 0 ⁺ (1 ⁺⁻)	• $f_0(2100)$ 0 ⁺ (0 ⁺⁺)	• $K_4^*(2045)$ 1/2(4 ⁺)	NON- $q\bar{q}$ CANDIDATES				• $T(1D)$ 0 ⁻ (2 ⁻ -)	• $T(1D)$ 0 ⁻ (2 ⁻ -)	
• $\omega(1420)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $f_2(2150)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $K_2(2250)$ 1/2(2 ⁻)							
• $f_2(1430)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $\rho(2150)$ 1 ⁺ (1 ⁻ -)	• $K_3(2320)$ 1/2(3 ⁺)	NON- $q\bar{q}$ CANDIDATES				• $\chi_{b2}(2P)$ 0 ⁺ (1 ⁺⁻)	• $\chi_{b2}(2P)$ 0 ⁺ (1 ⁺⁻)	
• $a_0(1450)$ 1 ⁻ (0 ⁺⁺)	• $\phi(2170)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $K_5^*(2380)$ 1/2(5 ⁻ -)							
• $\rho(1450)$ 1 ⁺ (1 ⁻ -)	• $f_0(2200)$ 0 ⁺ (0 ⁺⁺)	• $K_4(2500)$ 1/2(4 ⁻ -)	NON- $q\bar{q}$ CANDIDATES				• $\chi_{b2}(2P)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $\chi_{b2}(2P)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	
• $\eta(1475)$ 0 ⁺ (0 ⁻⁺)	• $f_J(2220)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺) or 4	• $K(3100)$? [?] (? ? [?])							
• $f_0(1500)$ 0 ⁺ (0 ⁺⁺)	• $\eta(2225)$ 0 ⁺ (0 ⁻⁺)	CHARMED (C = ±1)		NON- $q\bar{q}$ CANDIDATES				• $T(3S)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $T(3S)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)
• $f_1(1510)$ 0 ⁺ (1 ⁺⁻)	• $\rho_3(2250)$ 1 ⁺ (3 ⁻ -)	• D^\pm 1/2(0 ⁻)	• D^0 1/2(0 ⁻)						
• $f_2'(1525)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $f_2(2300)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $D^*(2007)^0$ 1/2(1 ⁻ -)	• $D^*(2010)^\pm$ 1/2(1 ⁻ -)	NON- $q\bar{q}$ CANDIDATES				• $T(4S)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $T(4S)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)
• $f_2(1565)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $f_4(2300)$ 0 ⁺ (4 ⁺⁺)	• $D_0^*(2400)^0$ 1/2(0 ⁺)	• $D_0^*(2400)^\pm$ 1/2(0 ⁺)						
• $\rho(1570)$ 1 ⁺ (1 ⁻ -)	• $f_0(2330)$ 0 ⁺ (0 ⁺⁺)	• $D_1(2420)^0$ 1/2(1 ⁺)	• $D_1(2420)^\pm$ 1/2(? [?])	NON- $q\bar{q}$ CANDIDATES				• $T(10860)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $T(10860)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)
• $h_1(1595)$ 0 ⁻ (1 ⁺⁻)	• $f_2(2340)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $D_1(2430)^0$ 1/2(1 ⁺)	• $D_2^*(2460)^\pm$ 1/2(2 ⁺)						
• $\pi_1(1600)$ 1 ⁻ (1 ⁺⁻)	• $\rho_5(2350)$ 1 ⁺ (5 ⁻ -)	• $D_2^*(2460)$ 1/2(2 ⁺)	• $D^*(2640)^\pm$ 1/2(? [?])	NON- $q\bar{q}$ CANDIDATES				• $T(11020)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)	• $T(11020)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)
• $a_1(1640)$ 1 ⁻ (1 ⁺⁻)	• $a_6(2450)$ 1 ⁻ (6 ⁺⁺)	• $D_2^*(2460)$ 1/2(2 ⁺)							
• $f_2(1640)$ 0 ⁺ (2 ⁺⁺)	• $f_6(2510)$ 0 ⁺ (6 ⁺⁺)	OTHER LIGHT		NON- $q\bar{q}$ CANDIDATES				NON- $q\bar{q}$ CANDIDATES	
• $\eta_2(1645)$ 0 ⁺ (2 ⁻⁺)	Further States								
• $\omega(1650)$ 0 ⁻ (1 ⁻ -)									
• $\omega_3(1670)$ 0 ⁻ (3 ⁻ -)									

S-mátrix elmélet

Részecskék kétféle szerepkörben

Rezonanciák

Közvetítők



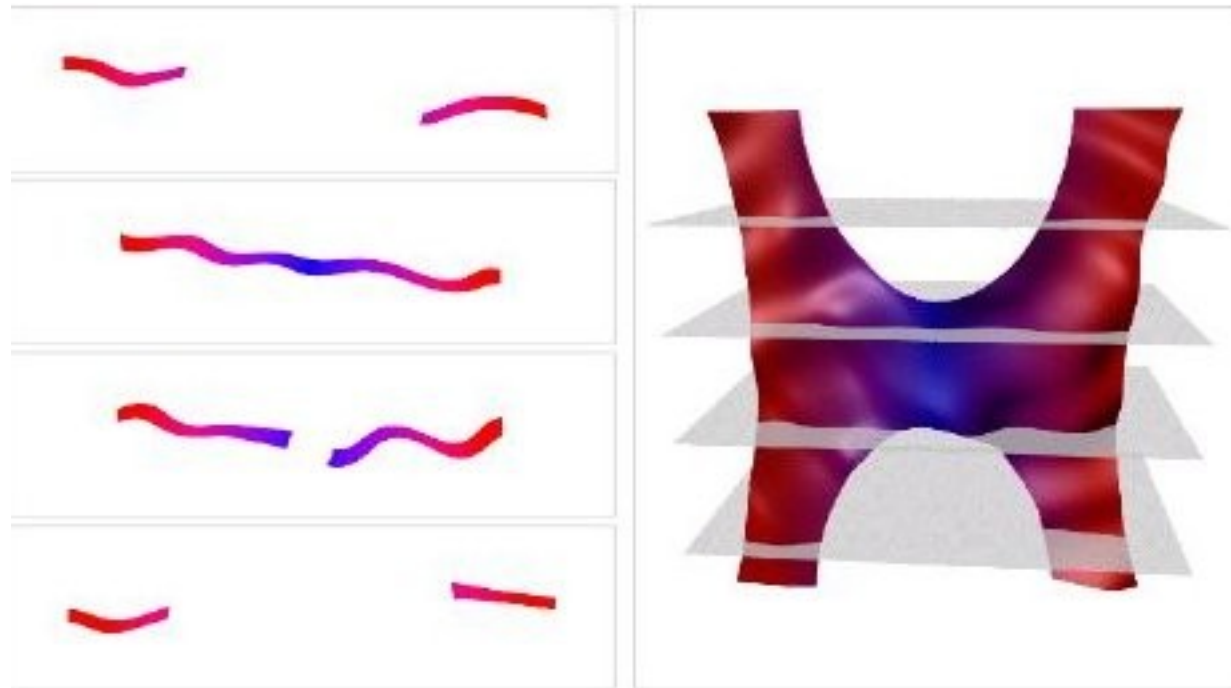
S-mátrix bootstrap

(unitaritás, keresztelés, kauzalitás, dualitás, ...)

A duális rezonancia modell

Veneziano: van erre megoldás! (Euler β)

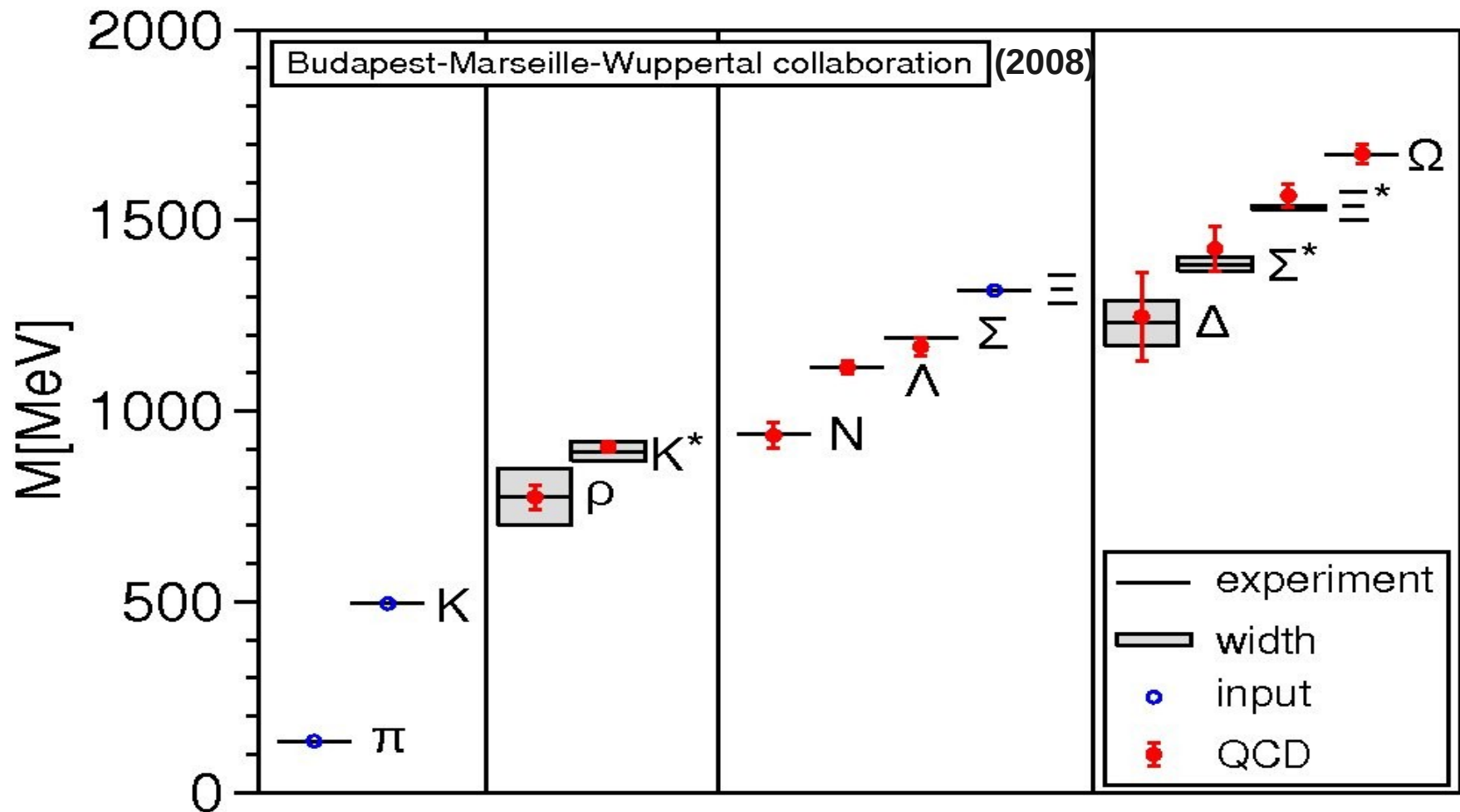
Kiderült: ez húrok kölcsönhatását írja le!



Átmeneti vereség

Kvantumszíndinamika (QCD):

erős kölcsönhatások leírása



A nagy transzmutáció

Nyílt húrok mellett mindig vannak zárt húrok is

Zárt húr: zérus tömegű, spin-2 gerjesztés

Graviton!

Átskálázás: 100 MeV 10^{19} GeV

10^{-15} m 10^{-35} m

$$\lambda = \frac{\hbar c}{E}$$

Hogy hat kölcsön? Mint a graviton!

Walks like a duck,

Quacks like a duck,

Swims like a duck...



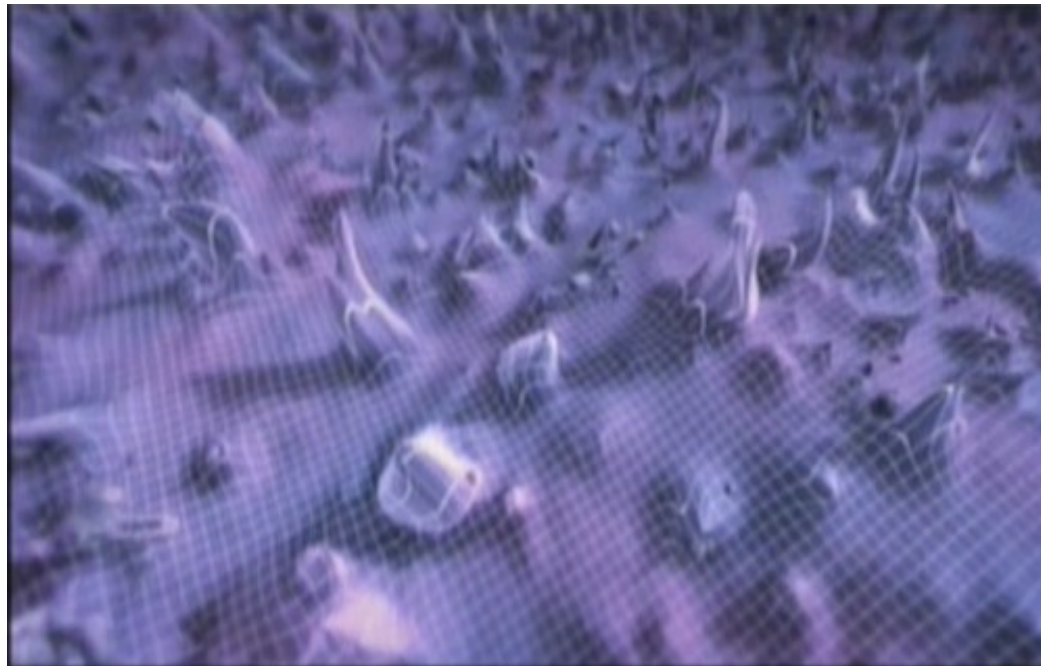
Well, it's a duck!

Kvantumgravitáció

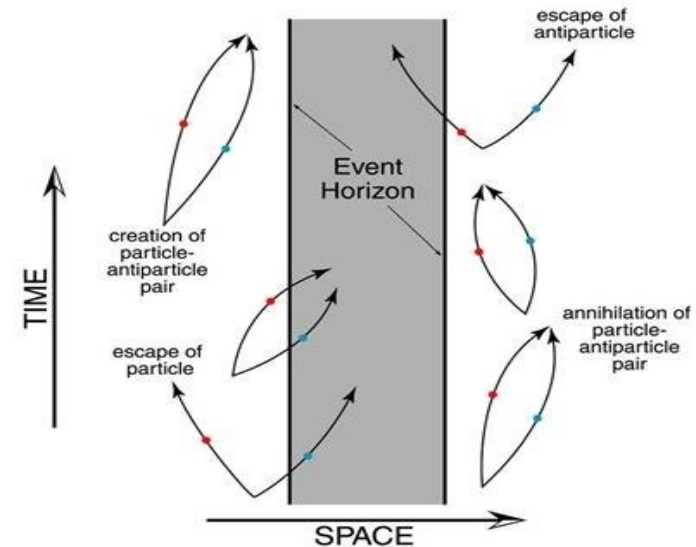
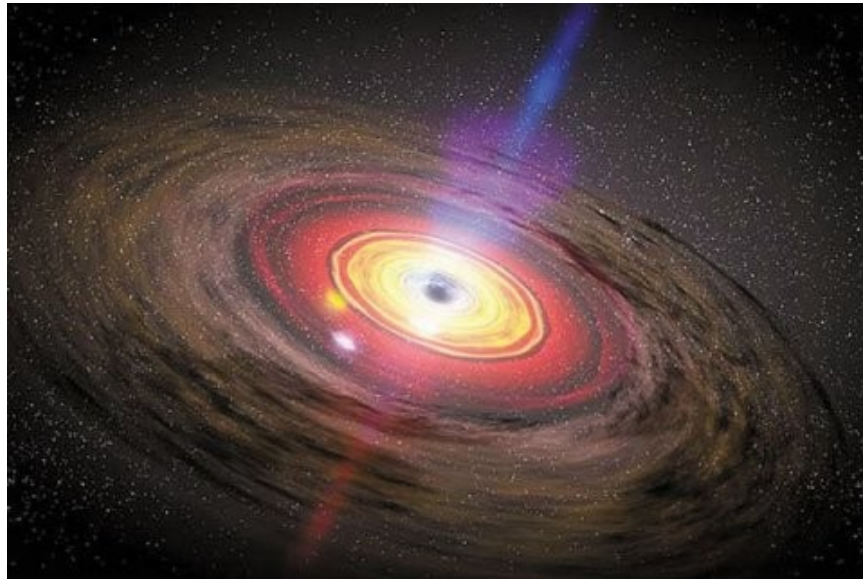
Kis skálákon Einstein elmélete nem érvényes:
“tér-idő hab”

$$l_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 1.616199(97) \times 10^{-35} \text{ m}$$

Mi a kvantumgravitáció helyes elmélete?



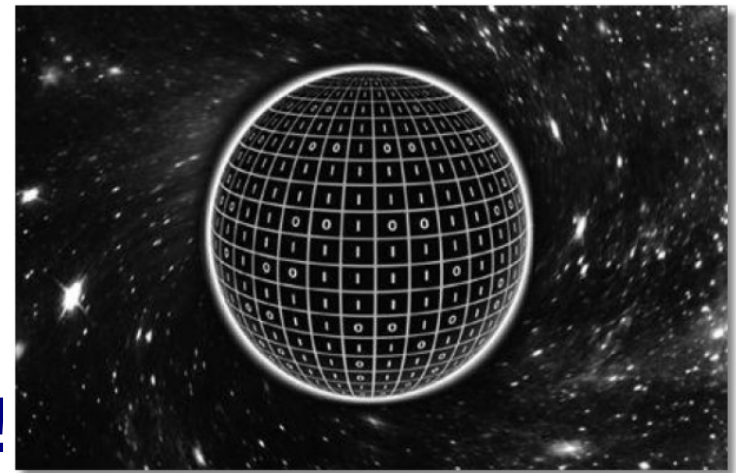
Fekete lyukak termodinamikája



Hawking sugárzás: BH abszolút fekete test
→ entrópiája van!

$$T_H = \frac{\kappa}{2\pi} \quad S_{BH} = \frac{kA}{4\ell_P^2}$$

De honnan? Hiszen nincs haja!



Az első szuperhúr forradalom

1984-1989:

Összesen 5 konzisztens 10D szuperhúr elmélet:

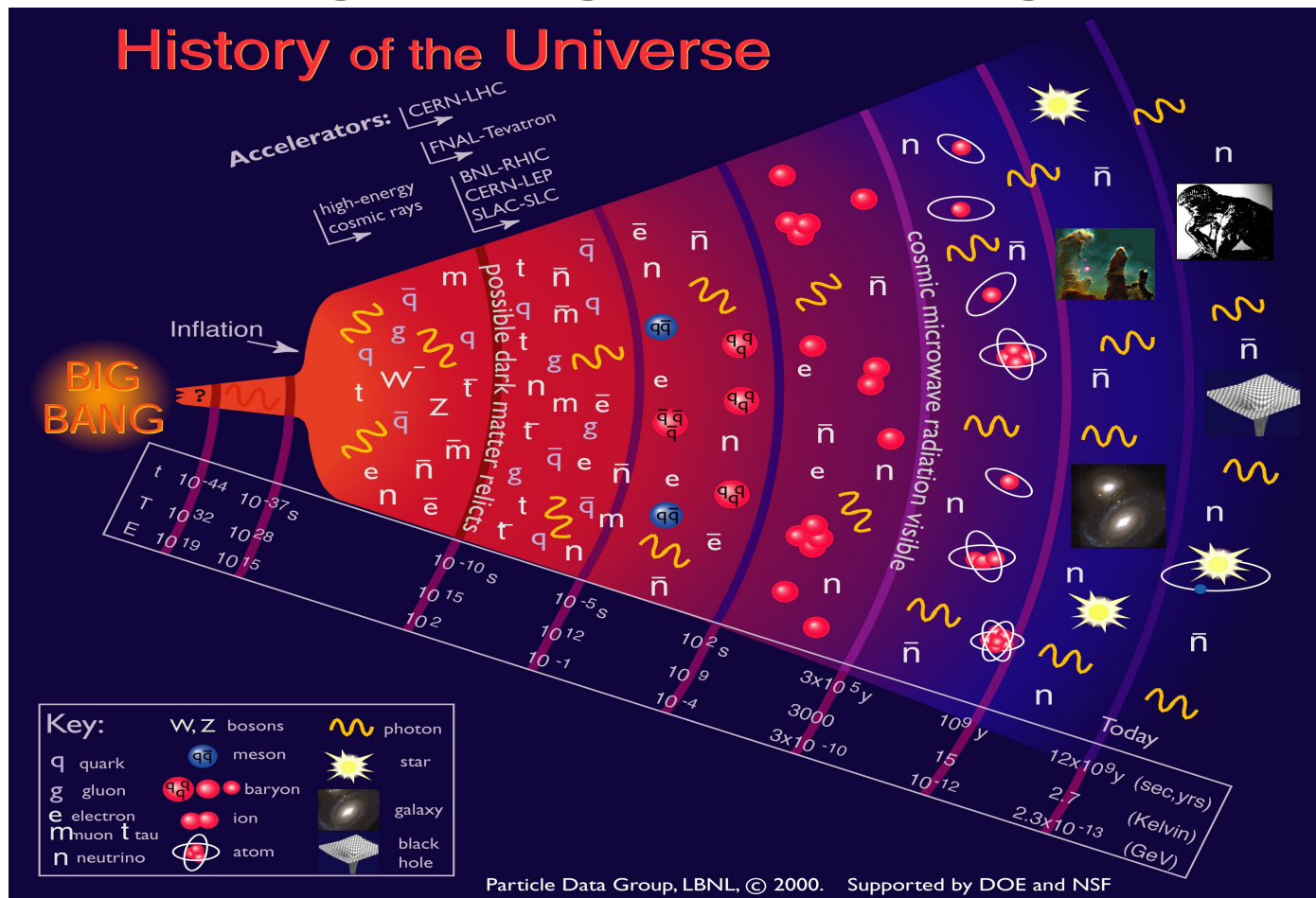
- Type I: nyílt+zárt, $SO(32)$ mértékcsoport
- Type IIA és IIB: csak zárt
- Heterotikus
 - $SO(32)$
 - $E_8 \times E_8$

Standard modell: $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$

Mindegyikbe belefér...

sőt még egy nagy egyesítés (GUT) is!

Big Bang kozmológia



Mi van az elején (Planck-éra?)

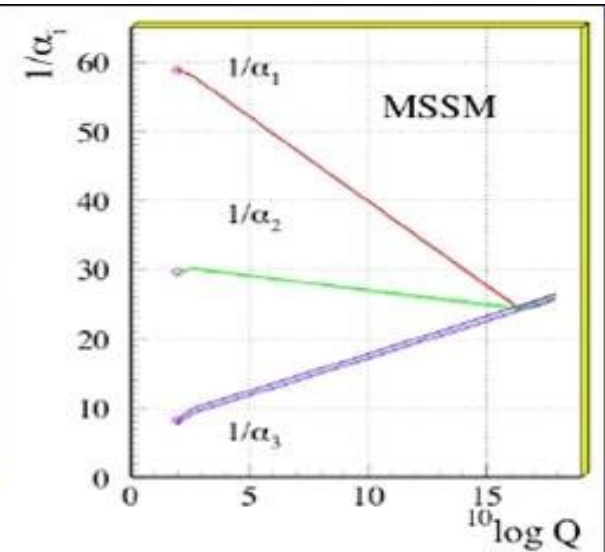
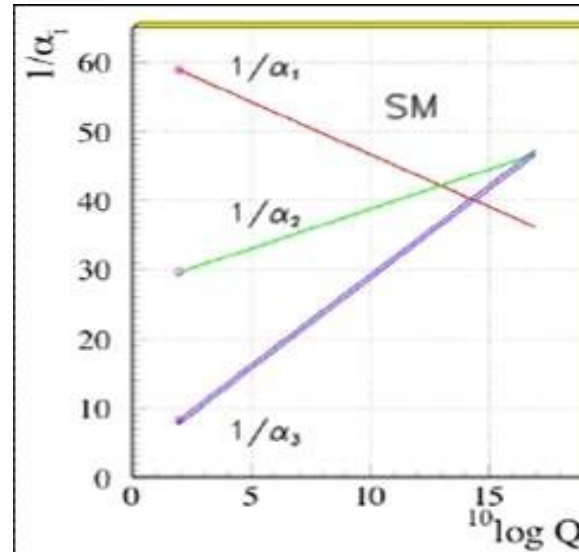
Mi az infláció dinamikája? Sötét anyag/energia?

Nagy egyesítés

Three Generations of Matter (Fermions)

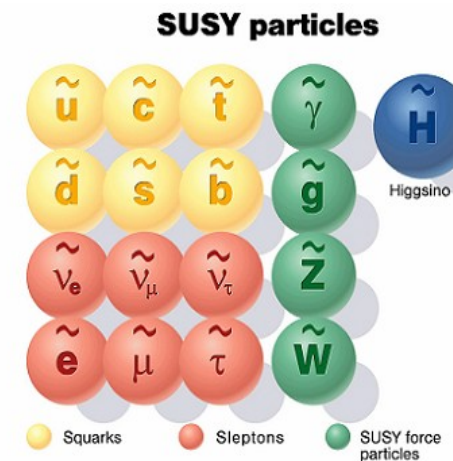
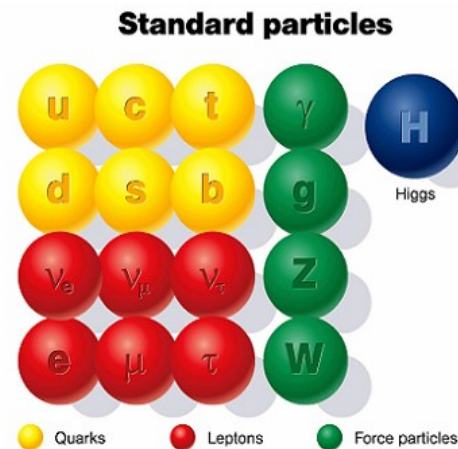
	I	II	III	
mass →	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
charge →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks				
mass →	6 MeV	95 MeV	4.2 GeV	0
charge →	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1
name →	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons				
mass →	< 2 eV	< 0.19 MeV	< 18.2 MeV	90.2 GeV
charge →	0	0	0	0
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1
name →	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z ⁰ weak force
mass →	0.511 MeV	106 MeV	1.78 GeV	80.4 GeV
charge →	-1	-1	-1	± 1
spin →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1
name →	e electron	μ muon	τ tau	W [±] weak force

Bosons (Forces)



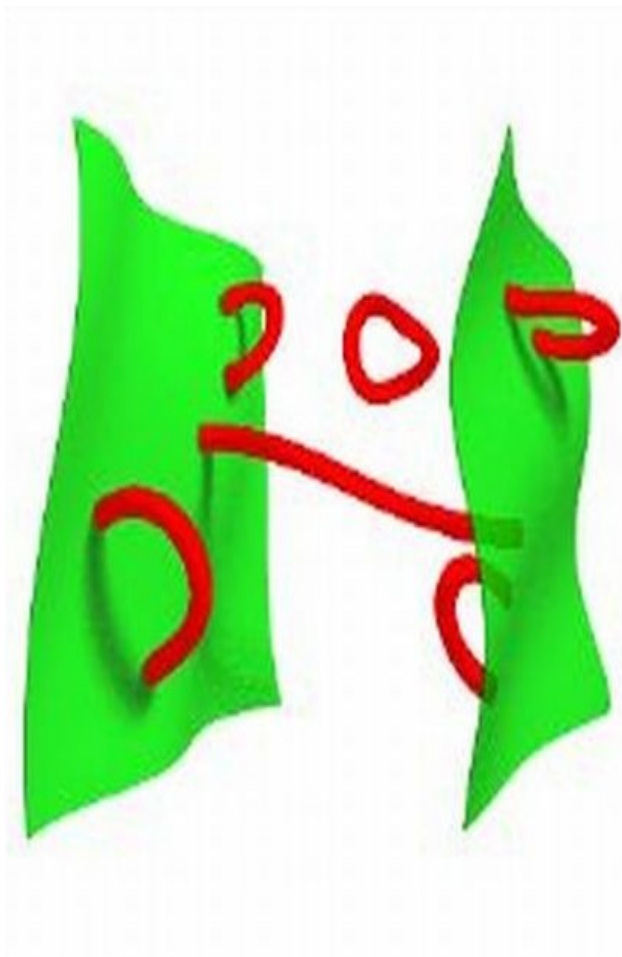
Szuperszimmetria:

- egyesítés
- sötét anyag jelölt
- skálastabilitás

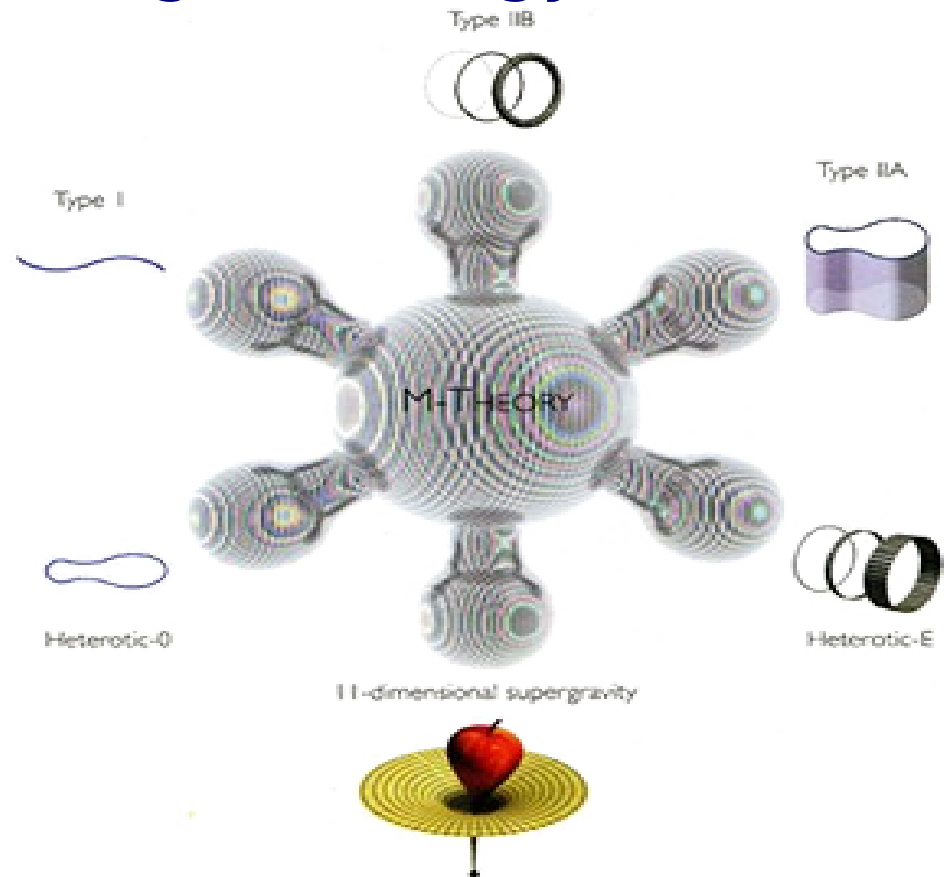


Második szuperhúr forradalom

Nemperturbatív megoldások: Bránok



Dualitások: M-elmélet
Mégis csak egyetlen TOE?



A nagy vákuum probléma

Gravitációs elmélet: téridő dinamikus

→ pár (mondjuk 6) dimenzió felcsavarodhat

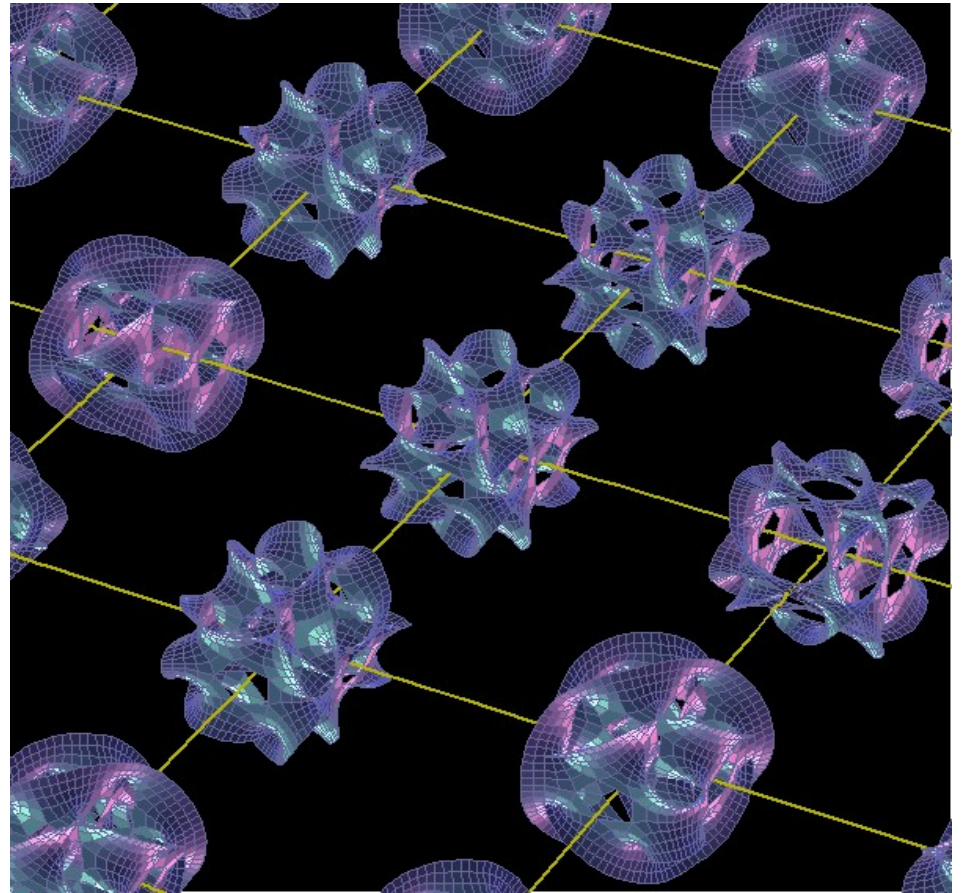
Probléma (?):

Rengeteg alapállapot!

Becslés:

$$10^{500}$$

→ string landscape



A húrelmélet problémái I.

- Minek az elmélete? (Húrok? Bránok? Mátrix?)
- Van-e vákuum szelekciós mechanizmus?
- Nehéz találni fenomenológiailag korrekt vákuumot (ami visszaadja a Standard Modellt)
- Kozmológiai konstans probléma:

Távoli szupernova megfigyelések → az Univerzum gyorsulva tágul → az üres tér energiája:

$$\Lambda = 5.4 \times 10^{-10} \frac{J}{m^3} = 10^{-120} M_{Planck}^4$$

Miért pont ennyi?

Kozmológiai infláció

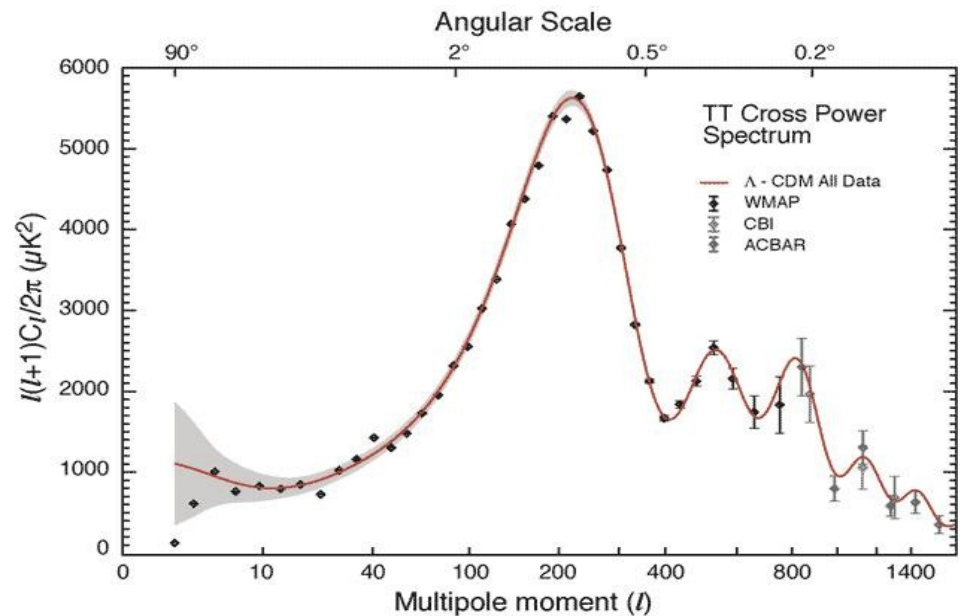
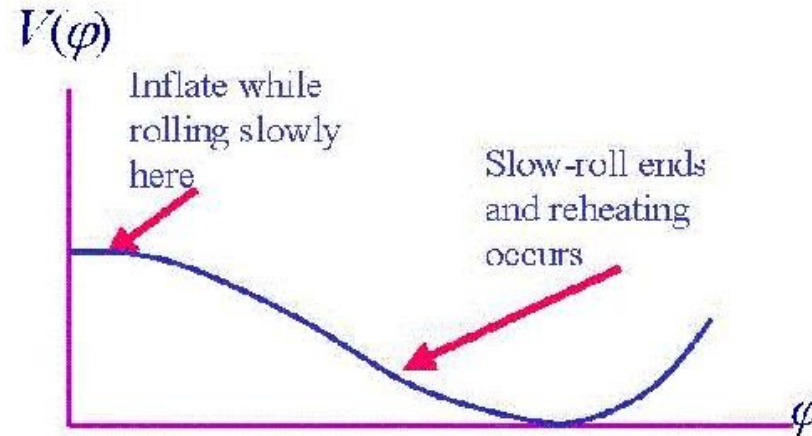
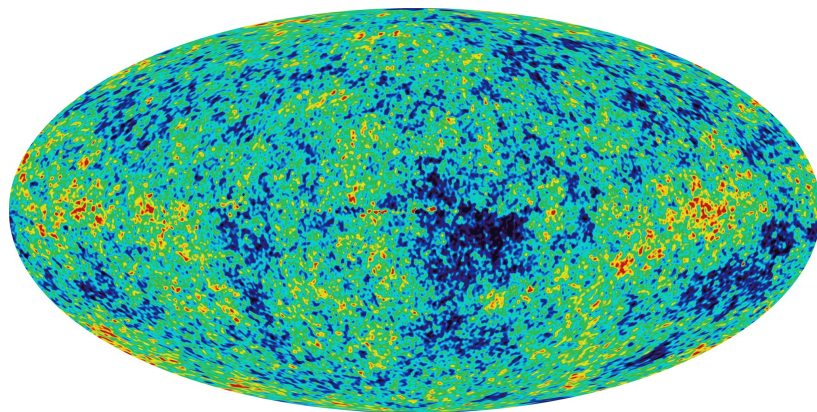
BB problémák: horizont, homogenitás, laposság

Megoldás:

“slow-roll” infláció

WMAP:

CMB anizotrópiák

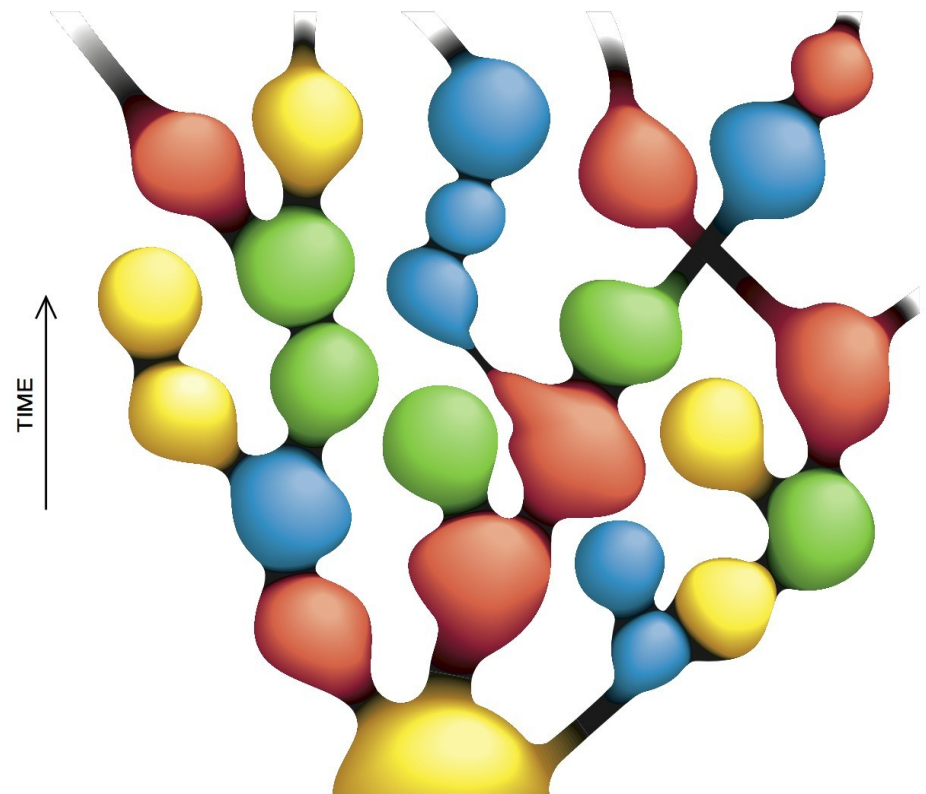
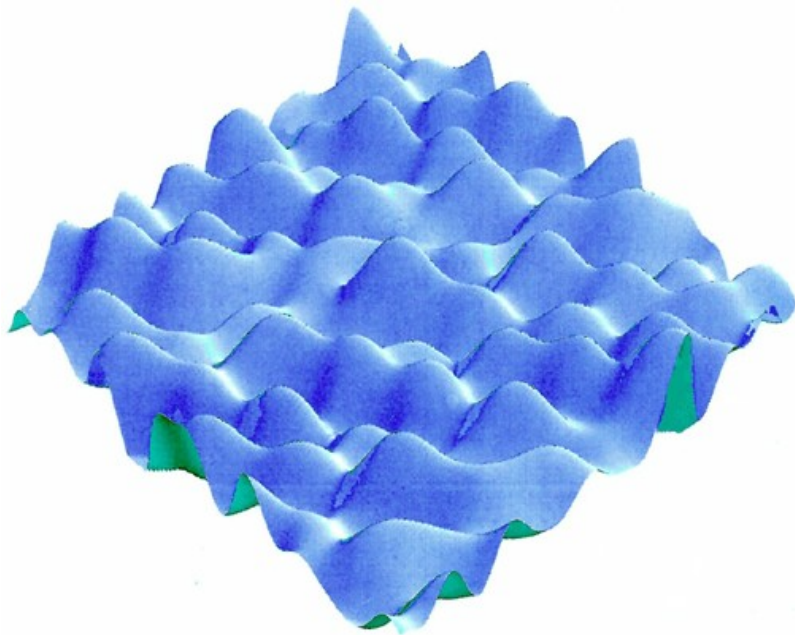


String landscape és kaotikus infláció

Finomhangolási probléma:

Miért alkalmas az Univerzum az életre?

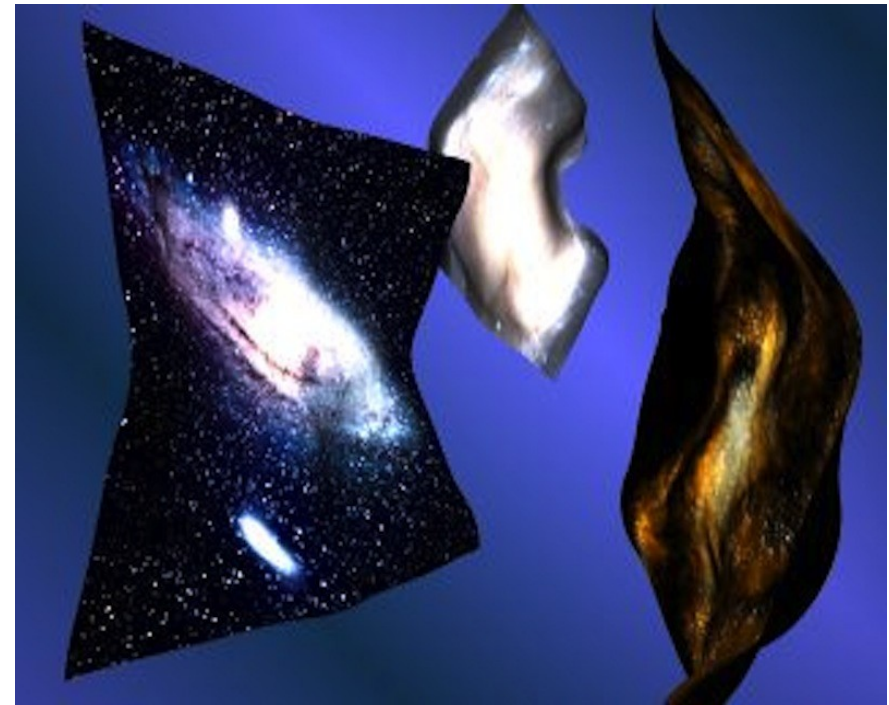
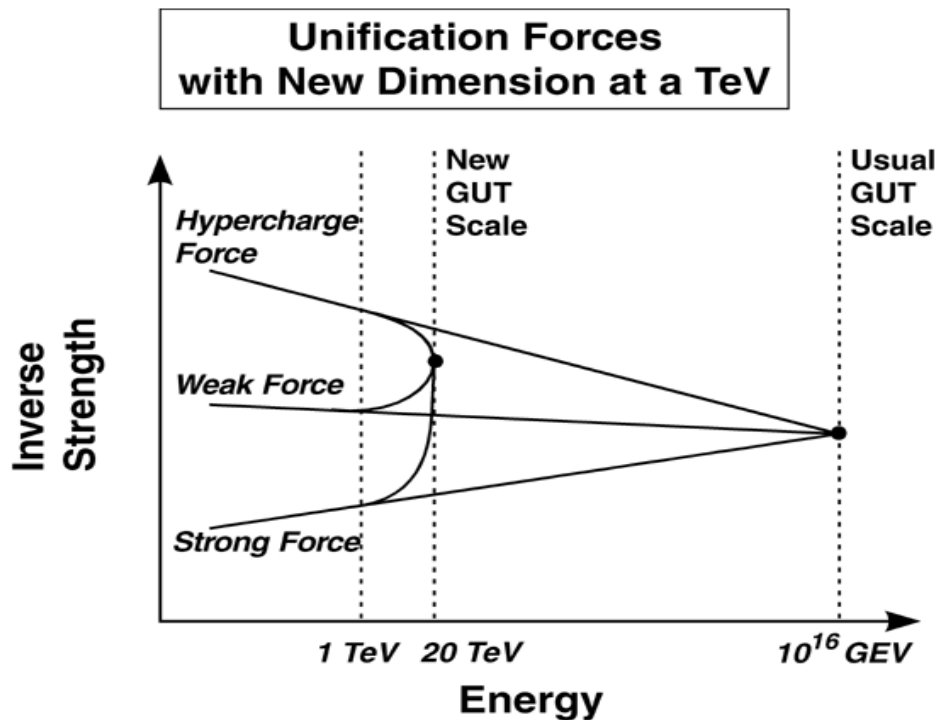
Válasz: antropikus elv



Mennyiben tudományos az antropikus elv?

Brán világok

Nagy extra dimenziók: ha $\geq 10^{-20}$ m, LHC látni fogja!



“Now my own suspicion is that the Universe is not only queerer than we suppose, but queerer than we can suppose.”

J.B.S. Haldane: Possible Worlds and Other Papers (1927)

Versenytársak I

- Hurok kvantumgravitáció (L. Smolin)
(Loop quantum gravity)

Az Einstein egyenletek kanonikus kvantálása
ügyesen választott változóiban

- Egyetlen ellenőrizhető jóslata sincs
(kvantumgravitációs elméletek közös problémája!)
- Hawking entrópia magyarázata problémás
(Immirzi paraméter)
- Szinte egyetlen megoldása sem ismert
- Csak gravitáció

Versenytársak II

- Aszimptotikus biztonság (S. Weinberg)

Feltevés: a gravitáció valójában tetszőleges energiáig jól definiált (UV fixpont)

- nem igazolt alapfeltevés
- intuitív érvek + modell számítások
- “szellemek” (nemfizikai szabadsági fokok)

- Diszkrétizált kvantum gravitáció

Regge kalkulus, dinamikus háromszögelés

(J. Ambjørn, J. Jurkiewicz, R. Loll)

- erősen numerikus (Monte-Carlo)

A húrelmélet problémái II

- Lehet-e ez az elmélet prediktív?
(igen, ha ezt jól értjük)
- Elfogadható-e az antropikus elv?
(persze, már máshol is használjuk)
- Falszifikálható-e a húrelmélet?
(ez meg miért kellene?)
- Tudományos elmélet-e?
(kérdés-e ez egyáltalán?)

Falszifikálhatóság mint kritérium?

Mi a tudomány?

Rendszerezett, releváns, megbízható ismeretek
szerzése (tevékenység!)

Megbízhatóság \neq (kísérleti) falszifikálhatóság!

Szigorúan véve nem falszifikálható pl. a
newtoni mechanika/kvantumtérelmélet sem!

Mi falszifikálható:

konkrét modellek konkrét előrejelzései!

Húrelmélet (akár a newtoni mechanika):

(Egyelőre?) nem konkrét modell, hanem egy
modellalkotási keret (“paradigma”)!

A húrelmélet rendkívül termékeny

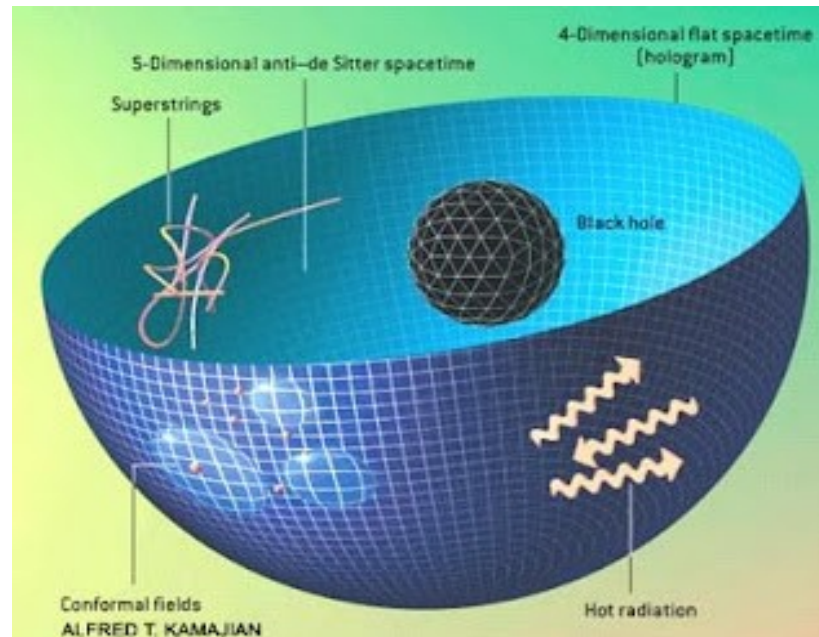
- Kitágította a potenciális részecskefizikai modellek körét: húrok, bránok, extra dimenziók
- Konzisztens kvantumgravitáció
(bár nem teljes és nem háttérfüggetlen – egyelőre?)

Megmagyarázza a BH entrópiát és sugárzást!

- Új matematikai tételekre vezetett
(tükör sokaságok)
- Új kozmológiai megközelítések
(ekpirotikus scenárió, landscape)

AdS/CFT dualitás

- Maldacena: holografikus leképezés kvantumtérelméletek és húrelmélet között



- Erősen korrelált rendszerek újszerű megközelítése
- A világ mint hologram?

Miért húrelmélet?

Hol keresi a részeg a kulcsot?



© Original Artist
Reproduction rights obtainable from
www.CartoonStock.com



search ID: shr1284

"QUARKS, NEUTRINOS, MESONS. ALL THOSE DAMN PARTICLES YOU CAN'T SEE. THAT'S WHAT DROVE ME TO DRINK. BUT NOW I CAN SEE THEM!"

És miért ne?

- Örökös, soha be nem váltott TOE ígéret.
- Még azt se tudjuk, mi a helyes kiindulás az elmélet megfogalmazásához.
- Lehet, hogy zsákutca?

“Quo vadis, theoria chordarum?”

De: addig nem lesz

“rend a kvantumgravitáció frontján”
amíg nincsenek kísérleti eredmények!

Egy kis tudomány szociológia

- S tábor: ők vannak sokan (részecskefizika, QFT)
 - GR nem a korrekt mikro szabadsági fokok
 - effektív elmélet, mint a termodinamika vagy a szilárdtestfizika, nem lehet “megkvantálni”
 - Nagy egyesítésre is utaznak
 - Vezető jelöltjük: húrelmélet
- L tábor: ők vannak kevesen (általánosan háttér)
 - GR lényegében a korrekt szabadsági fokok
 - Megpróbálja nemperturbatíván megkvantálni
 - Csak gravitációra utaznak
 - Vezető jelölt: hurok kvantum gravitáció

Kvantumtérelmélet

QFT:

- Egyetlen kölcsönható modell se jól definiált
- 80 éve nyűjük őket, mégse értjük
- Segítségül analógiákat hívunk

Clay Institute, Millennium Prize problems:

“Prove that for any compact simple gauge group G , quantum Yang-Mills theory of R^4 exists and has a massgap $\Delta > 0$.”

- Csak éppen a standard modell maga egy QFT...

Mégis mi a különbség? Sok-sok kísérleti adat!