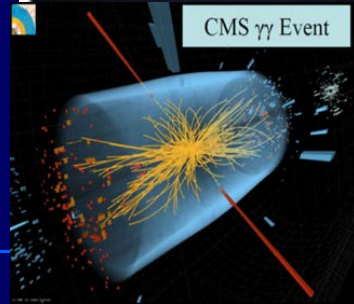


Wszechświat cząstek elementarnych

WYKŁAD 12


Maria Krawczyk, Wydział Fizyki UW



15.05.2013

Poza Modelem Standardowym

Problemy Modelu Standardowego

- Wiele parametrow (np.masy)
- Dlaczego trzy rodziny?
- Niezerowa masa neutrin
- Problem hierarchii - 

$$M_H(\sim 100 \text{ GeV}) \ll M_{\text{Planck}} (10^{19} \text{ GeV})$$

Często formułowany jako różnica skali EW ($\sim 1 \text{ TeV}$) i skali Plancka

- Grawitacja?
- Opisuje 4 % wszechświata – brak kandydatów na ciemną materię

Odstępstwa od Modelu?

Czy odkryty w 2012r bozon Higgosa zgodny z MS ?

Problem hierarchii w MS

Model Standardowy działa dobrze przy obecnych energiach- a do jakich energii (Λ) możemy go stosować?

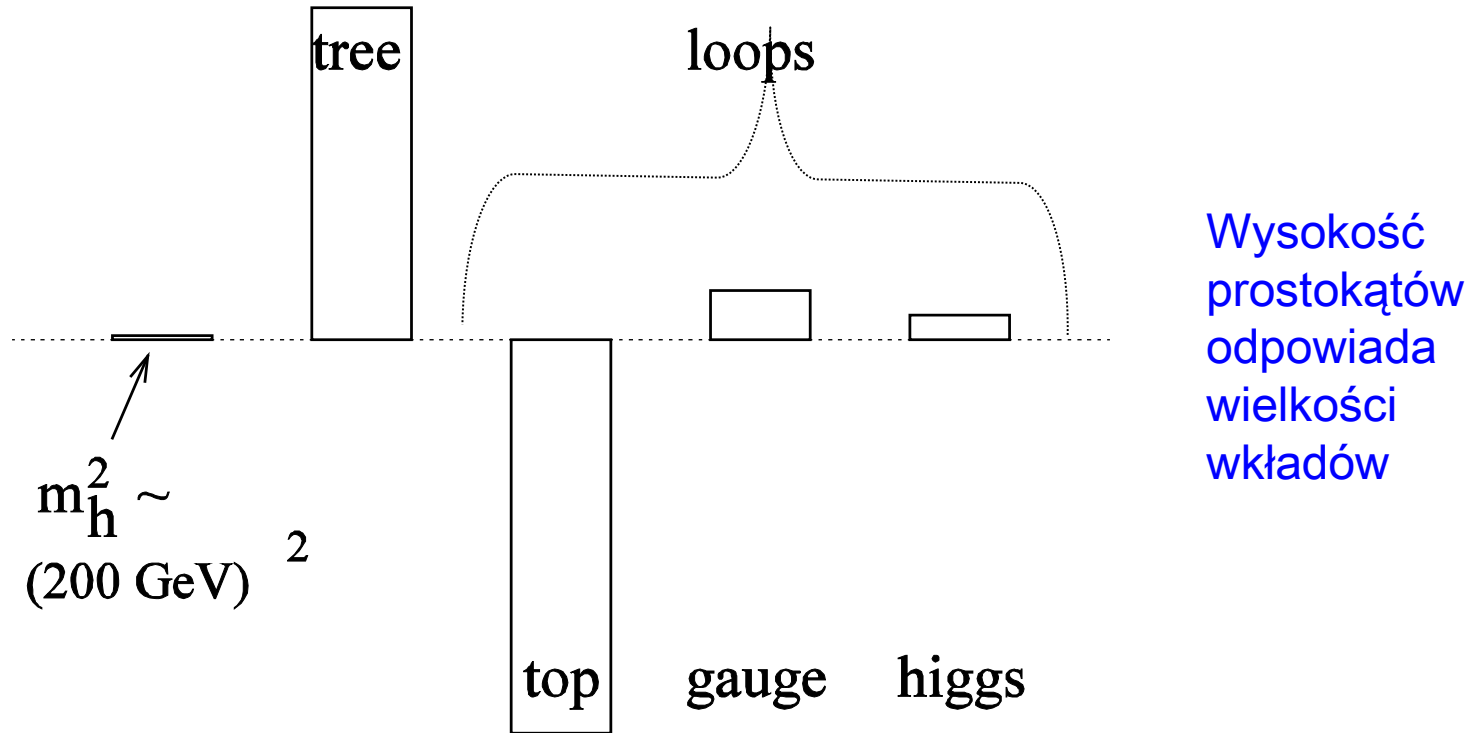
Poprawki kwantowe np. do masy cząstki Higgsa - pętle z energiami dowolnie dużymi. Jeśli uwzględnimy wkłady tylko do energii (skali) Λ

Poprawka do masy \sim sprzężenie $\times \Lambda$

Aby uzyskać masę H około 100 GeV

- nienaturalne dopasowanie parametrów modelu (fine tuning)

Fine tuning dla $\Lambda = 10 \text{ TeV}$



Poprawki kwantowe do masy cząstki Higgsa - od pętli z kwarkami (w tym kwarkiem top), z bozonami cechowania W/Z, i z cząstkami Higgsa muszą się bardzo precyzyjnie skracać z wkładem najniższego rzędu (tree), aby uzyskać przewidywanie na masę cząstki Higgsa około 200 GeV (*precyzyjne dopasowanie*)

Duża różnica skal energii niezwykle dokładne dopasowanie parametrów

W LHC energia ok 10 TeV (fine tuning 1/100)
→ oczekiwane efekty nowej fizyki
(nowe cząstki i oddziaływania)

np.

- skracanie się dużych wkładów w supersymetrii (wkłady od top i stop)
- nowe rezonanse z masami rzędu TeV
- więcej wymiarów przestrzennych ...

Poza Modelem Standardowym

→ głównie dążenie do unifikacji

- Model Standardowy: symetria cechowania
 $SU(2) \times U(1) \times SU(3)_c$
EW: $SU(2) \times U(1)$ → częściowa unifikacja sił słabych i el-m
- **Wielka Unifikacja (Grand Unified Theory - GUT)**
→ łączenie oddziaływań EW i silnych. Symetria cechowania GUT „widoczna” przy energiach powyżej **10^{16} GeV** - zbliżanie się stałych sprzężenia. Różne modele.
- W fundamentalnym opisie grawitacji naturalną skalą jest skala Plancka:
masa Plancka **1.2×10^{19} GeV**
długość Plancka **1.6×10^{-35} m**

Polecam artykuł J. Lukierskiego:

Od Modelu Standardowego do teorii M: Teorie Wszystkiego

<http://postepy.fuw.edu.pl/zjazdy/Gdansk2003/PF404Lukierski.pdf>

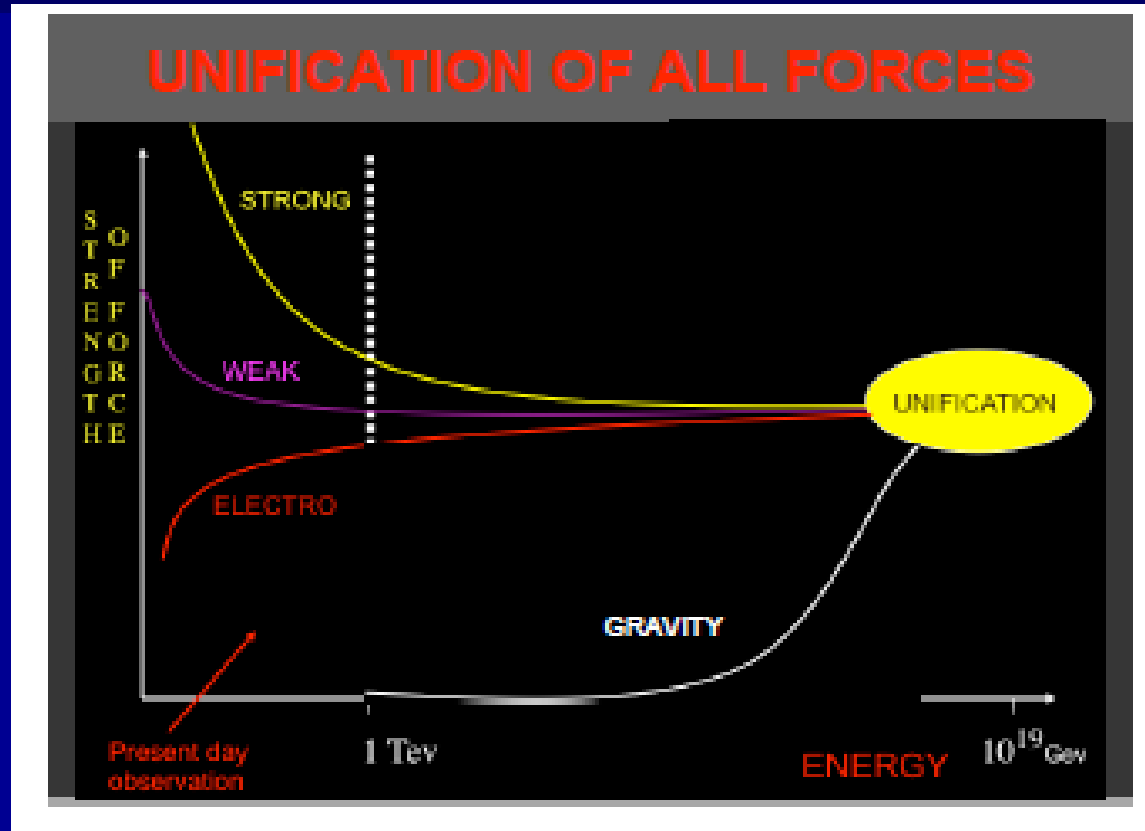
Unifikacja z grawitacją?

- Dotychczas zajmowaliśmy się głównie cząstkami elementarnymi i ich oddziaływaniami
- Idea unifikacji oddziaływań dla bardzo dużych energii to najważniejszy obecnie kierunek badań teoretycznych
- A co z grawitacją? Bardzo słaba dla małych energii (dużych odległości) - wzmacnia się dla dużych energii → „siła” porównywalna do innych oddziaływań dla (masy) energii Plancka.
Pełna unifikacja sił?

Unifikacja z grawitacją

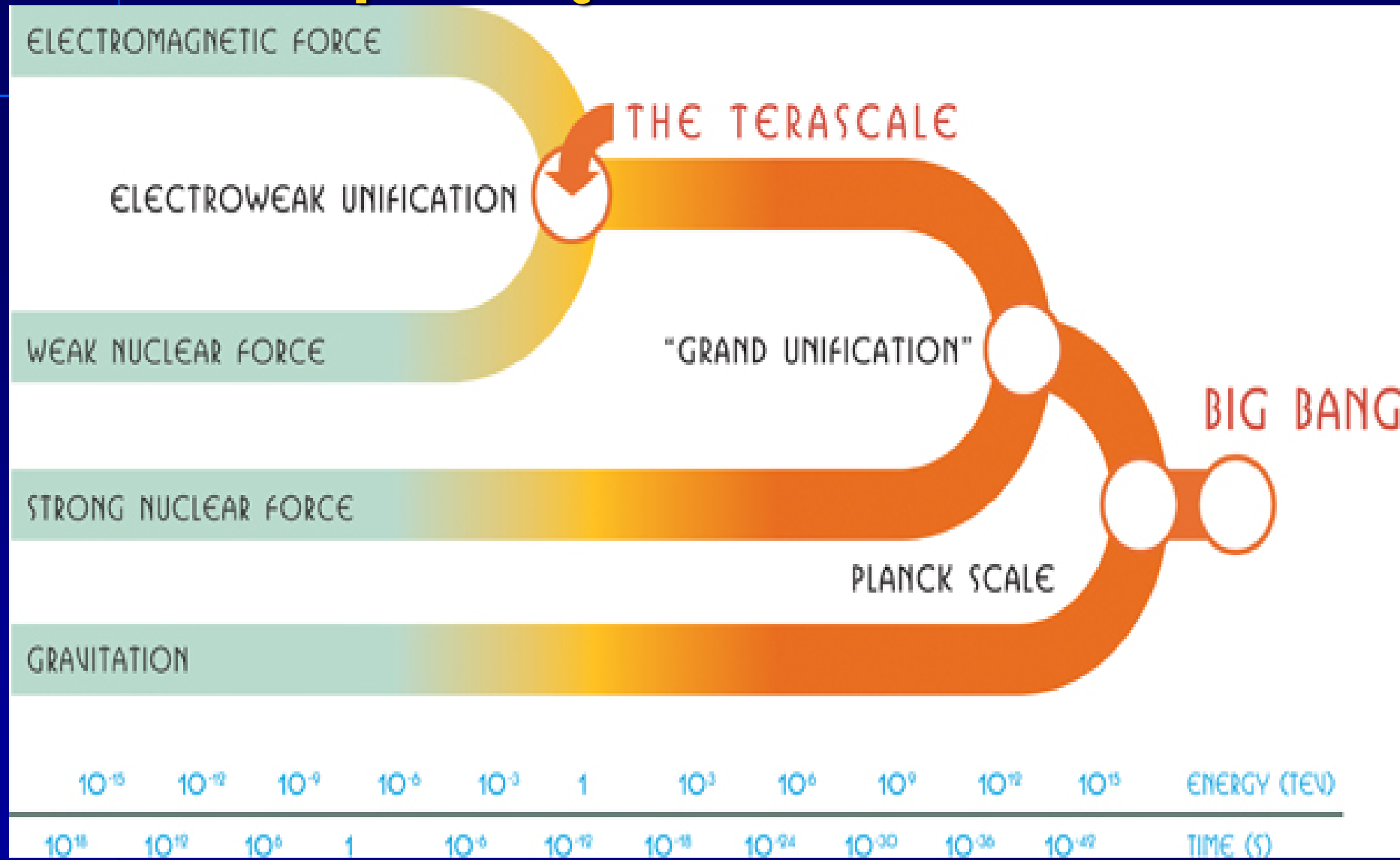
David Gross: The Coming Revolutions in Theoretical Physics

<http://www.youtube.com/watch?v=AM7SnUlw-DU&feature=channel>



„Siła” grawitacji $F \sim M^2 \sim E^2$ i dlatego rośnie tak szybko dla dużych E

UNIFIKACJA z grawitacją a początek Wszechświata



Oddziaływanie grawitacyjne

Klasycznie oddziaływanie grawitacyjne opisuje prawo Newtona. Einstein (1915-17r) powiązał oddziaływanie grawitacyjne z dynamiką czasoprzestrzeni

Ale kłopot z opisem kwantowym grawitacji –fluktuacje czasoprzestrzeni dla skali Plancka niekontrolowalne

Trzeba wyjść poza teorię Einsteina, np. **teoria strun**. Struny (hadronowe) zaproponowano aby opisać oddz. silne → ale okazuje się, że w teorii strun grawitacja pojawia się automatycznie. **Teoria strun to** spójna i skończona (tzn. bez nieskończoności) kwantowa teoria grawitacji – ale czy jednoznaczna?

Wyjście poza Model Standardowy

1/ Rozszerzenie symetrii
→ supersymetria

2/ Rozszerzenie czasoprzestrzeni
→ dodatkowe wymiary przestrzenne

3/ "Rozszerzenie" obiektów
→ rozciągłe obiekty fundamentalne
(struny, membrany i brany p-wymiarowe)

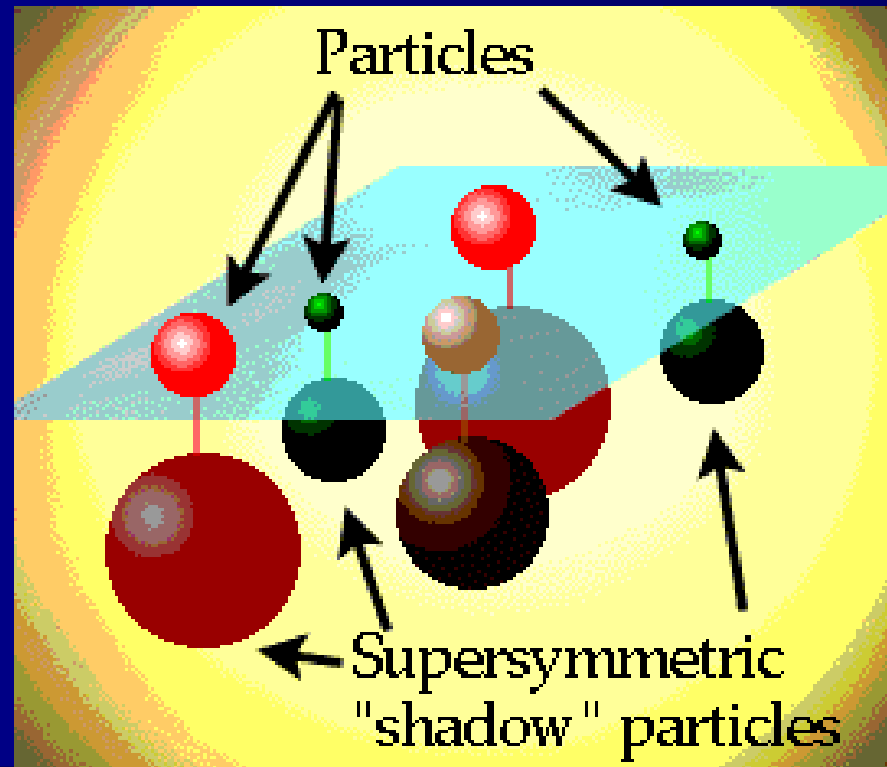
Ku **Teorii Wszystkiego**-
pełna unifikacja wszystkich oddziaływań
fundamentalnych i renormalizowalność

Uwaga- badania nad substrukturą w zaniku

SUPERSYMETRIA

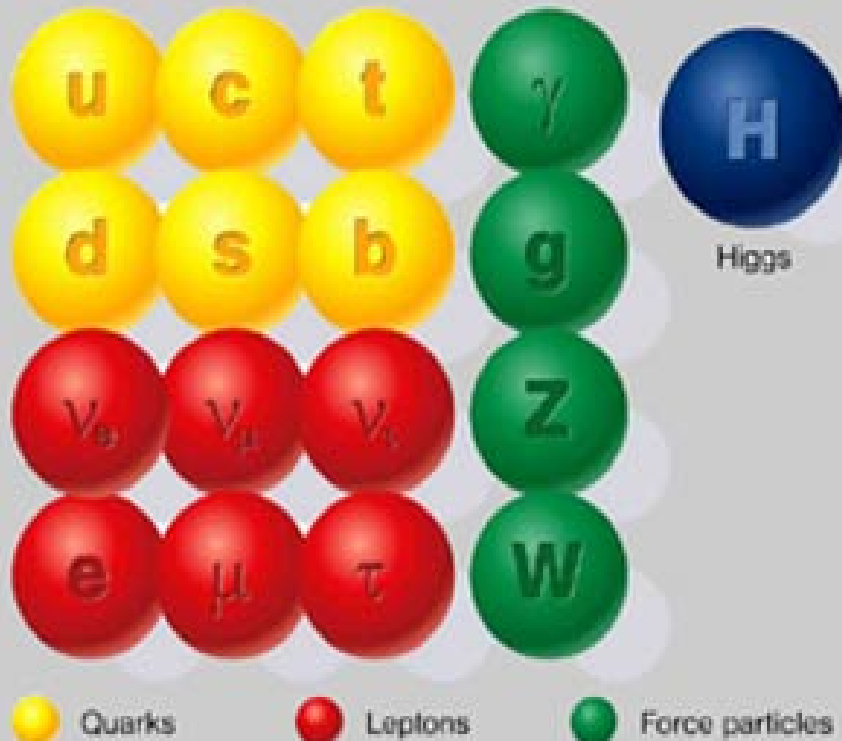
- W przyrodzie tylko dwa typy cząstek: fermiony i bozony
- Supersymetria zakłada symetrię fermion \leftrightarrow bozon, czyli wymaga **podwojenia** składu cząstek fundamentalnych
- Supersymetryczni partnerzy znanych cząstek z MS = cząstki SUSY

Cząstki SUSY muszą być b. masywne bo ich nie obserwujemy.
Supersymetria musi być łamana

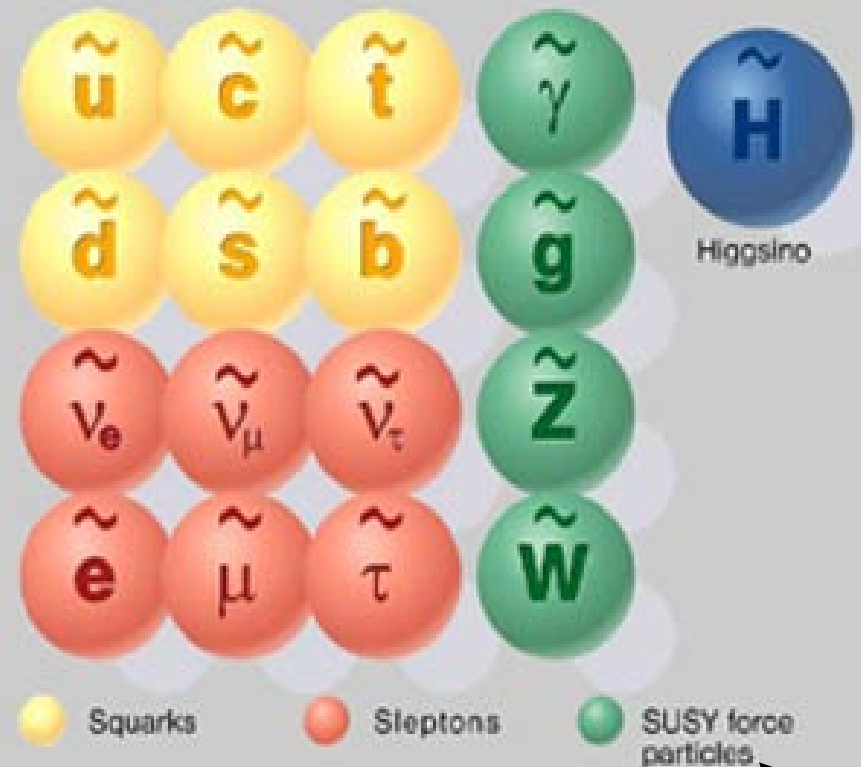


Słodcy partnerzy

Standard particles



SUSY particles



skwarki, sleptony, gaugina, higgsina
 spin 0, spin 1/2

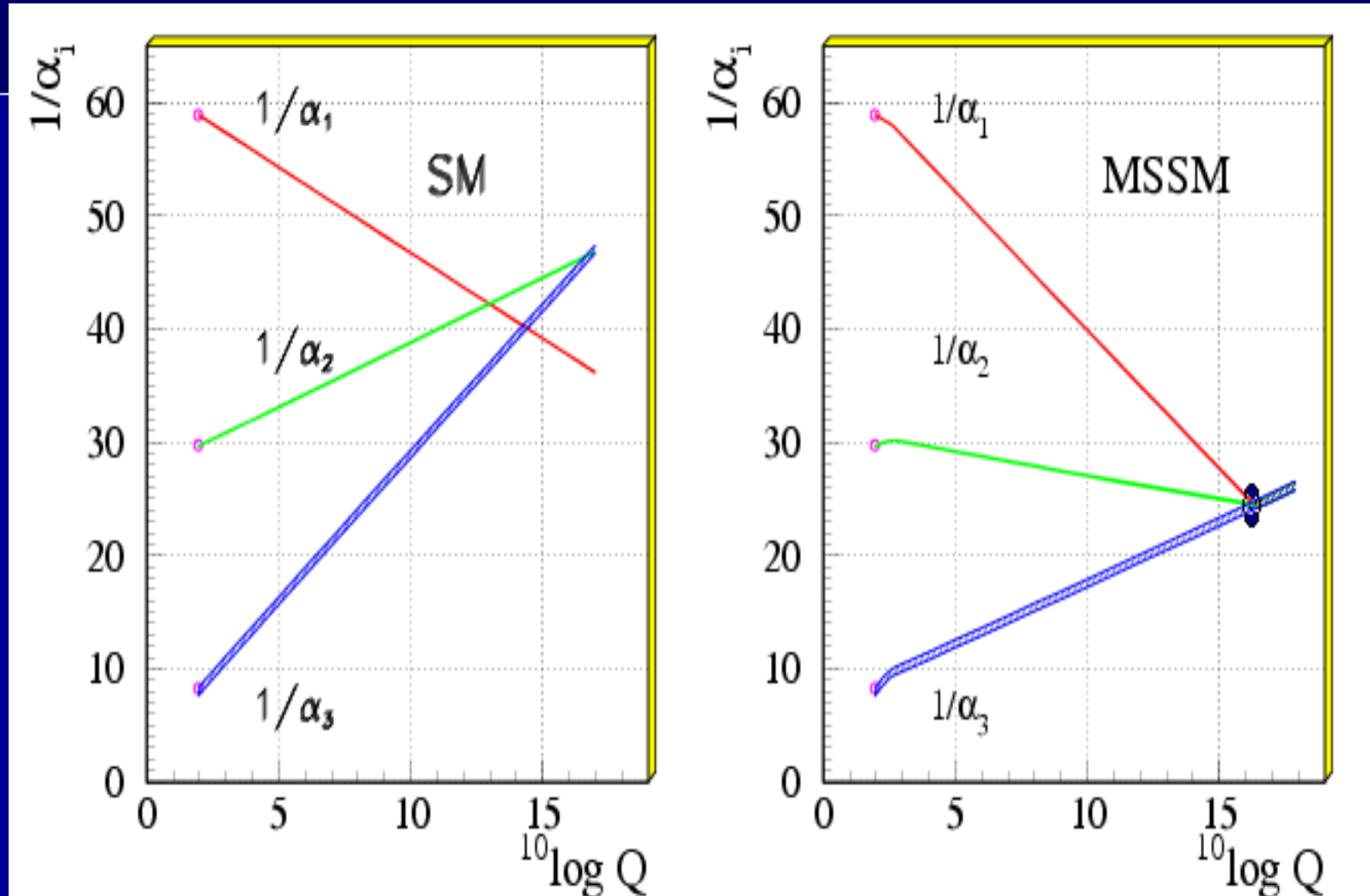
Masy ~ 1 TeV

Podwojenie dubletów skalarów Φ_1 i Φ_2

Supersymetria jest super

- Problem hierarchii usunięty – kasowanie się wkładów od fermionów i bozonów w pętlach
- Unifikacja oddziaływań (GUT): lepsze „zbieganie” stałych sprzężenia do siebie
- Założenie dodatkowe: **symetria R** (liczba kwantowa **R** i jej zachowanie), więc najlżejsza cząstka SUSY jest trwała → kandydat/tka na **ciemną materię**

Unifikacja sił w MS i MSSM (Minimal Supersymmetric Standard Model)



Oś y : kolejno od góry $1/\alpha_{em}$, $1/\alpha_W$, $1/\alpha_s$; oś x : logarytm dziesiętny od skali energii Q/TeV

Minimalny Standardowy Model Supersymetryczny (MSSM)

- sektor Higgsa

- **Dwa** dublety pól skalarnych \rightarrow aby nadać masy wszystkim cząstkom fundamentalnym
- Przewidywanie: istnieje 5 cząstek Higgsa (spin 0)
 h, H, A (neutralne) i H^\pm (naładowane)

Uwaga - h ma właściwości zbliżone do cząstki Higgsa w MS,
i dlatego nowe dane z LHC nie wykluczają MSSM !

- **Higgsina** o spinie $\frac{1}{2}$
Gaugina (gaudżina, spin $\frac{1}{2}$: *fotino, gluino, wino, zino*)
mieszają się z higgsinami \rightarrow fizyczne cząstki to:
neutralina (neutralne) i **czardżina** (naładowane)

SUPERSYMETRIA

wg D. Grossa

Odkrycie supersymetrii -

to jak odkrycie kwantowych wymiarów
czaso-przestrzeni

Naturalne i unikatowe rozszerzenie
relatywistycznych symetrii natury

LHC- dwa główne kierunki poszukiwań:
cząstki Higgsa i cząstki SUSY

wciąż brak konkretnych sygnałów dt SUSY...

Pierwsza Teoria Wielkiej Unifikacji: SU(5)

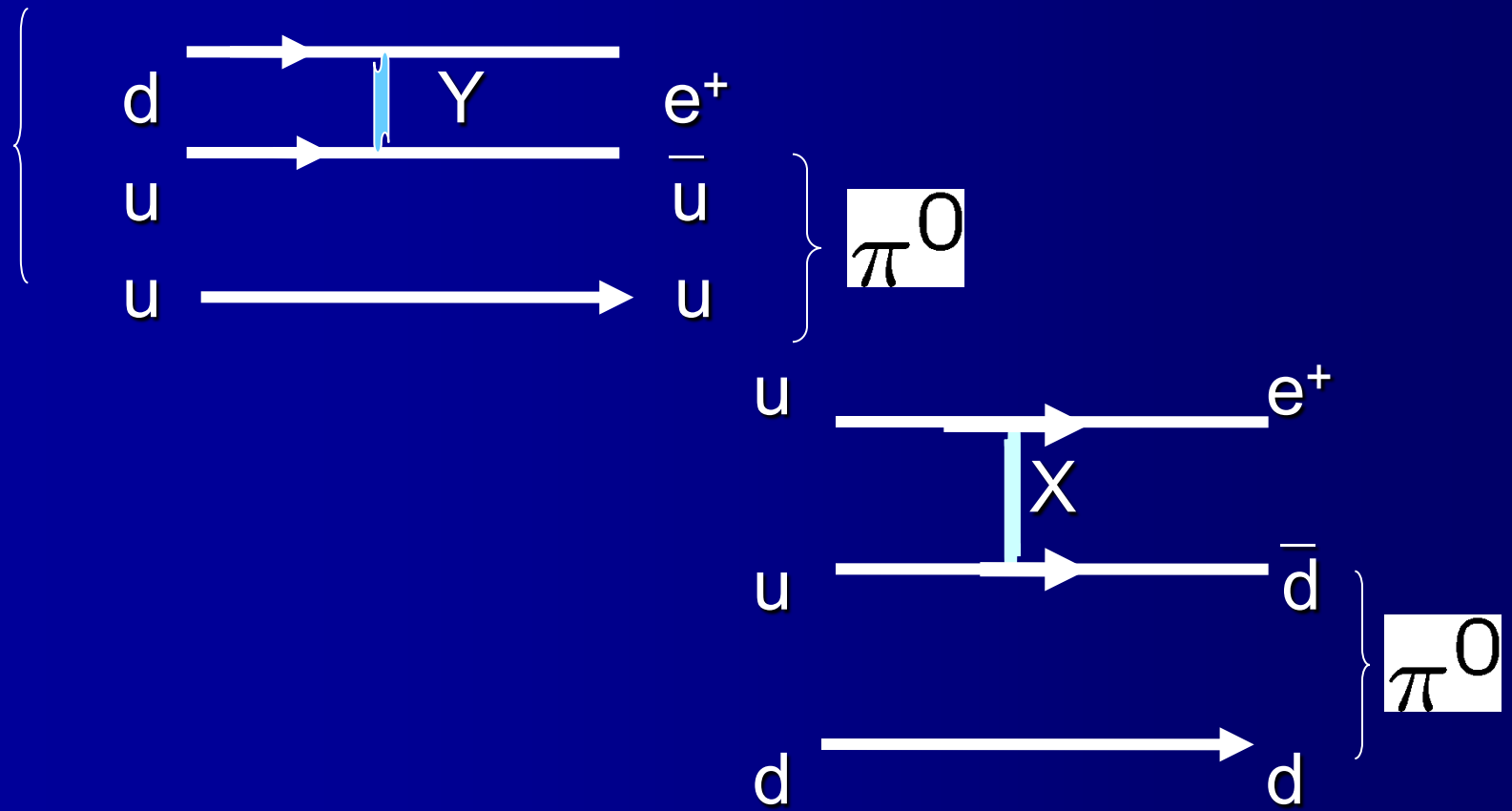
- Symetria cechowania SU(5) (zawiera SU(2)xU(1)xSU(3) jako podgrupę) – idea w 1974 r
Glashow, Georgi
- w multipletach SU(5) zarówno kwarki jak i leptony, stąd możliwość zamiany kwarków w leptony i odwrotnie (niezachowanie liczby barionowej B i leptonowej L!)
- 12 kolorowych bozonów cechowania (leptokwarki):
X (ład. el. $-1/3$) i Y ($-4/3$)
plus gluony, foton, W/Z - razem 24 bozony cechowania
- 3 generacje fermionów (15 stanów) np.
 $u_R, u_G, u_B, d_R, d_G, d_B, e^-, \nu_e$ w różnych stanach spinowych;
- W tym modelu mamy skwantowanie ładunku elektr.:
ładunek elektronu = - ładunek protonu

Rozpad protonu $p \rightarrow e^+ \pi^0$ w $SU(5)$

W tym modelu proton się rozpada w wyniku wymiany bozonów X/Y
za szybko: czas życia $p \sim 10^{30-31}$ lat , a dane $> 10^{31-33}$ lat
 - dlatego ten model został odrzucony

Przykłady procesów z wymianą X i Y

proton



KALUZA-KLEIN THEORY

Przykład pierwszej teorii z dodatkowymi wymiarami przestrzennymi

D.Gross



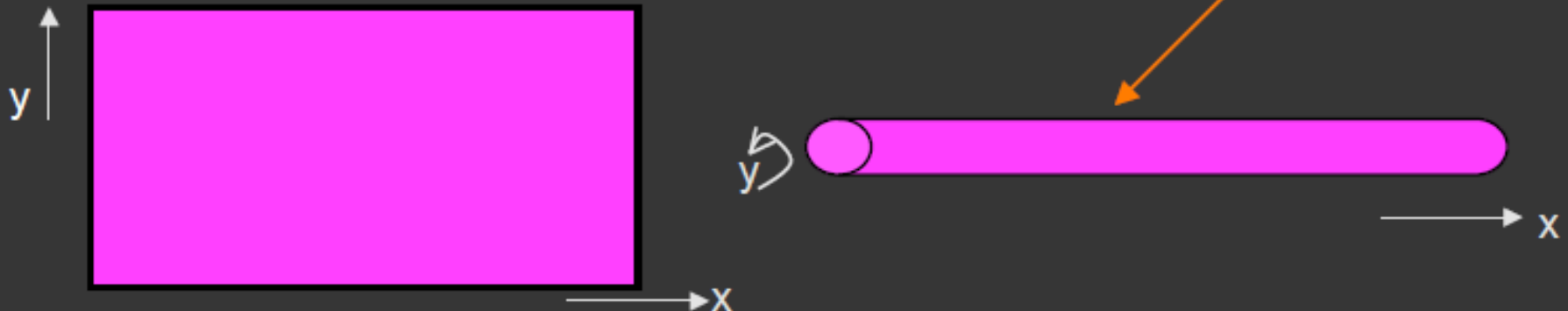
(1919-21) If space-time is dynamical there might exist new, curled up, spatial dimensions.

Jeśli czaso-przestrzeń jest dynamiczna mogą istnieć nowe, zwinięte, małe wymiary przestrzenne
To może wyjaśnić oddziaływania el-magn. jako efekt grawitacji w 5 wymiarach !



Einstein was fascinated by this idea and came back to it over and over again---for over 30 years.

Can explain
E&M as an
effect of gravity
in 5 dimensions



Nowe idee – 1998 r

duże dodatkowe wymiary...

Zał. grawitacja i oddz. EW zbliżona „siła” dla energii
~1TeV (unifikacja oddz. z cechowaniem i grawitacji)

To możliwe, bo prawo Newtona zmodyfikowane
np. $1/r^2 \rightarrow 1/r^4$

(gdy dwa dodatkowe zwinięte wymiary przestrzenne)

Oddz. grawitacyjne dokładnie zbadane do odl. 1 cm

(a od 1 cm do 10^{-33} cm ???)

Cząstki SM żyją w 4 wymiarach (3+1), a grawiton
w dodatkowych..

Superstruny

- Teoria Wszystkiego (Theory of Everything) połączenie wszystkich oddziaływań wraz z grawitacją. W kwantowej grawitacji – oddziaływania punktowe, a to prowadzi do osobliwości (nieskończonych wyrażeń)
- **Superstruny** – przykład Teorii Wszystkiego. Zastępujemy cząstki punktowe **strunami o skończonej długości**
- W grawitacji: skale Plancka $l_{Pl}=1.6 \cdot 10^{-35}$ m, $M_{Pl}=1.2 \cdot 10^{19}$ GeV
- Różne wzbudzenia strun \rightarrow różne cząstki fundamentalne
- **Superstruny - teoria renormalizowalna w przestrzeni o liczbie wymiarów 10 lub więcej**
- Parametr opisujący struny α' - ten sam co w oddziaływaniach hadronów (bo tu też struny!)
- Superstruny – wciąż brak konkretnych przewidywań i bardzo wiele możliwych sformułowań tej teorii

THE ACHIEVEMENTS OF STRING THEORY

- A Consistent, Logical Extension of the Conceptual Framework of Physics

REVOLUTIONS IN PHYSICS

Relativity	c	Velocity of light
Quantum Mechanics	h	Quantum of action
String Theory	G	Planck length

- A Consistent and Finite Quantum Theory of Gravity
- A Rich Structure That Could Yield a Unique and Comprehensive Description of the Real World (a T.O.E)

Ale są i inne opinie

M. Veltman (Facts and Mysteries in Elementary Particle Physics, 2003):

..this book is about a physics, and this implies that the theoretical ideas discussed must be supported by experimental facts. Neither supersymmetry nor string theory satisfy this criterion. They are figments of the theoretical mind.

To quote Pauli: „They are not even wrong.”

They have no place here.

Pytania do wykładu 12

Wymień 3 problemy Modelu Standardowego

Co oznacza skrót GUT?

Czy Wielka Unifikacja dotyczy połączonego opisu oddziaływań fundamentalnych wraz z grawitacją?

Dla jakich energii przewiduje się realizację Wielkiej Unifikacji?

Czy supersymetria została odkryta?

Jak nazywają się supersymetryczni partnerzy kwarków?

Ile cząstek Higgsa przewiduje MSSM?

Czy szybkość rozpadu protonu w SU(5) zgadza się z danymi doświadczalnymi?

Czy liczba barionowa jest zachowana w SU(5)?

Czy istnieją teorie zakładające różną od 4 liczbę wymiarów?

Jaka jest główna idea teorii superstrun?

Jaki parametr występuje zarówno w opisie hadronów jak i teorii strun?

Czy teoria superstrun uwzględnia grawitację?

Czy teoria superstrun jest renormalizowalna?