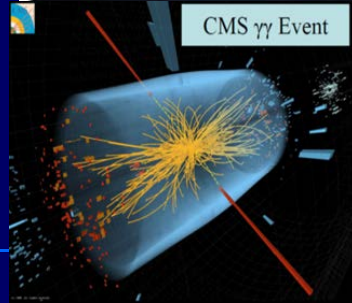


Wszechświat cząstek elementarnych

WYKŁAD 13

Maria Krawczyk, Wydział Fizyki UW



14.05.2014

Poza Modelem Standardowym

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

Poza Modelem Standardowym

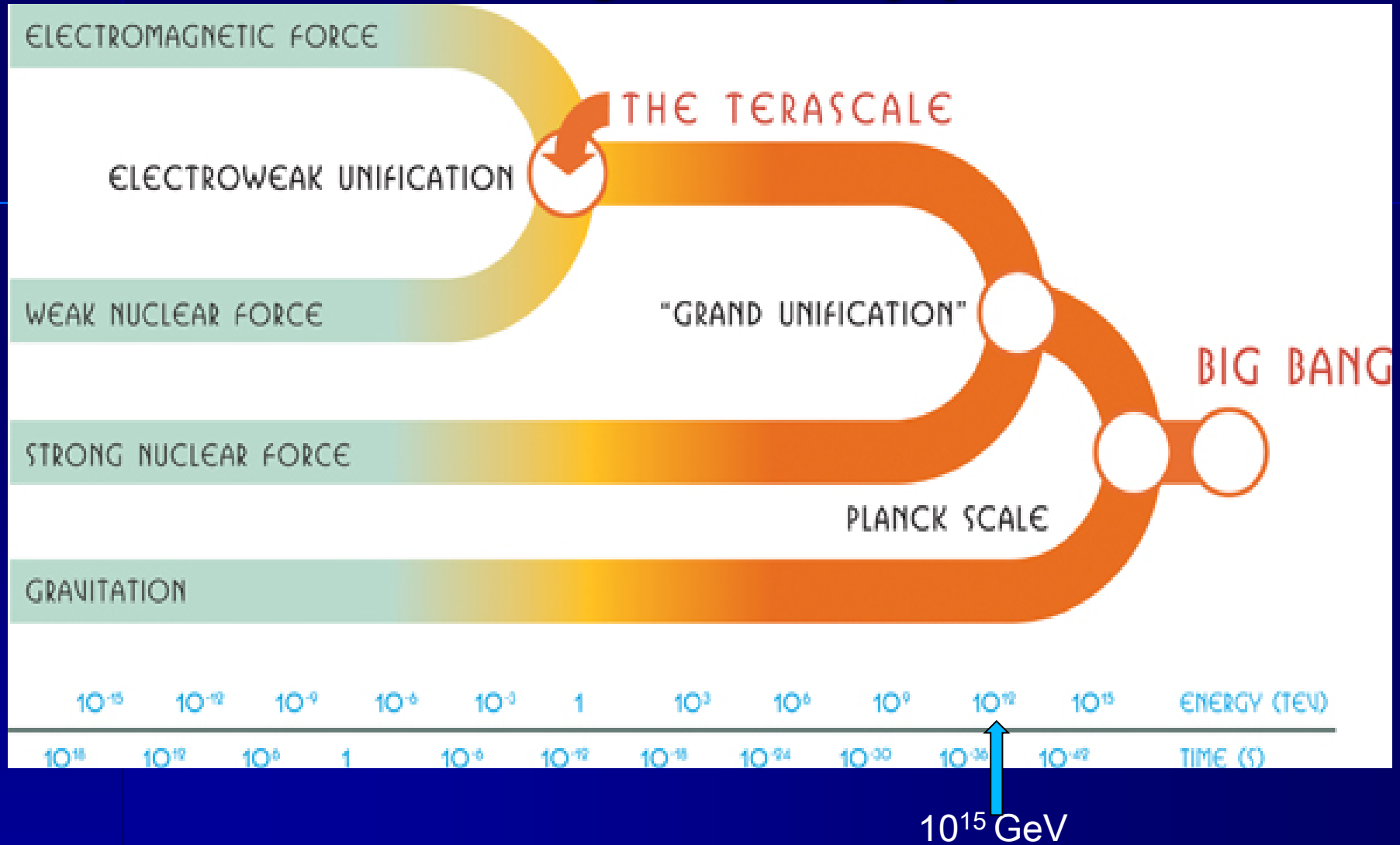
→ dążenie do unifikacji

- Model Standardowy: symetria cechowania
 $SU(2) \times U(1) \times SU(3)_c$
EW: $SU(2) \times U(1) \rightarrow$ 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**
- Teoria Wszystkiego** - pełna unifikacja wszystkich oddziaływań fundamentalnych (razem z grawitacją)

Polecam artykuł J. Lukierskiego:

Od Modelu Standardowego do teorii M: Teorie Wszystkiego
<http://postepy.fuw.edu.pl/zjazdy/Gdansk2003/PF404Lukierski.pdf>

UNIFIKACJA z grawitacją



- Grawitacja - bardzo słaba dla małych energii (dużych odległości) - wzmacnia się dla dużych energii → „siła” porównywalna do innych oddziaływań dla (masy) energii Plancka. Pełna unifikacja sił?

Problemy Modelu Standardowego

- Wiele parametrow (np.masy) - w innym modelach więcej
- Dlaczego trzy rodziny? – żaden model tego nie wyjaśnia
- Niezerowa masa neutrin - łatwe
- Problem hierarchii -

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


Często formułowany jako różnica skali EW (~ 1 TeV) i skali Plancka

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

Odstępstwa od Modelu?

Czy odkryty w 2012r bozon Higgsa zgodny z MS ?

Niezerowa masa neutrin

W Modelu Standardowym -
tylko lewe neutrino i prawe antyneutrino (masa ZERO)

Jeśli masa różna od zera (2001 r), np.

⇒ ograniczenie na masę
neutrino elektronowego:

$$m_\nu < 2.2 \text{ eV (95\% CL)}$$

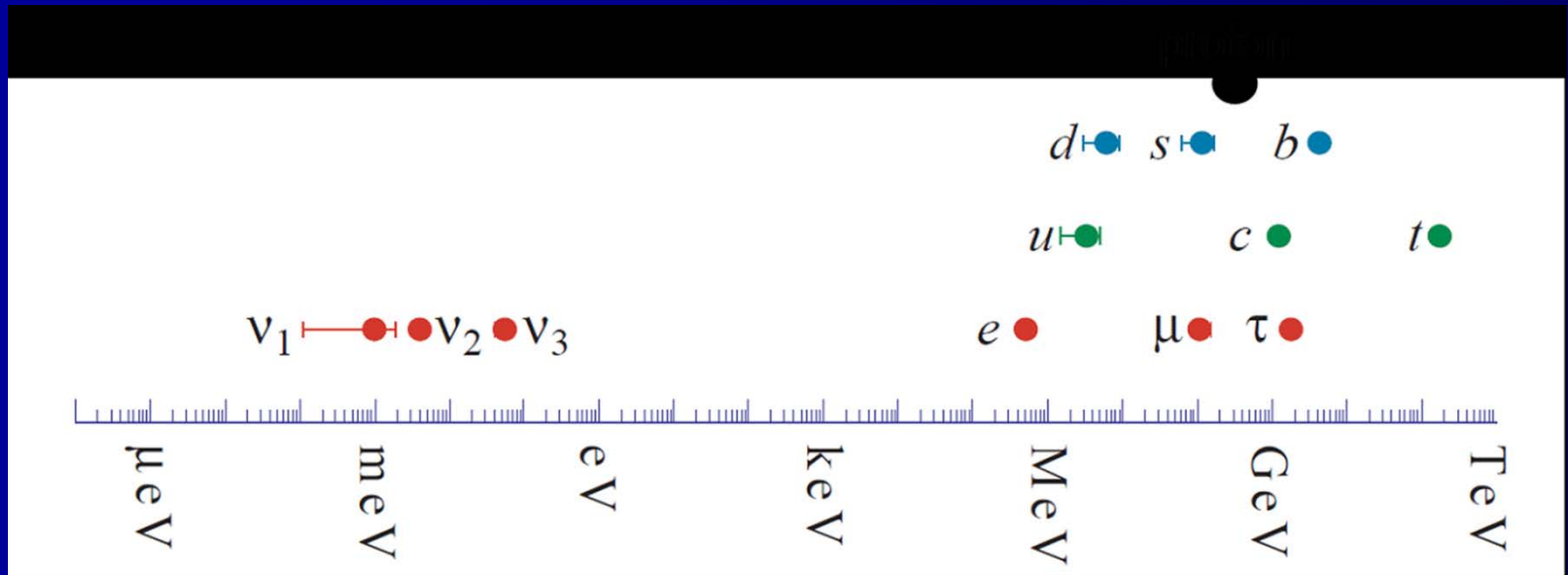
→ dodatkowe stany neutrin i anyneutrino.

Ale oddziaływania słabe tych dodatkowych stanów
z bozonami cechowania W i Z silnie tłumione
(zgodność z doświadczeniem).

MS rozszerza się tak, aby sektor EW wiązał się
z oddzielną symetrią SU(2) dla lewych i prawych
fermionów. I dodatkowo wprowadza się mechanizm
tłumienia, tłumaczący również skrajnie małe masy
neutrino w porównaniu z innymi masami fermionów

Masy neutrin

neutrino.ift.uni.wroc.pl/?page=Neutrina/neutrina.html



Problem hierarchii w MS

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

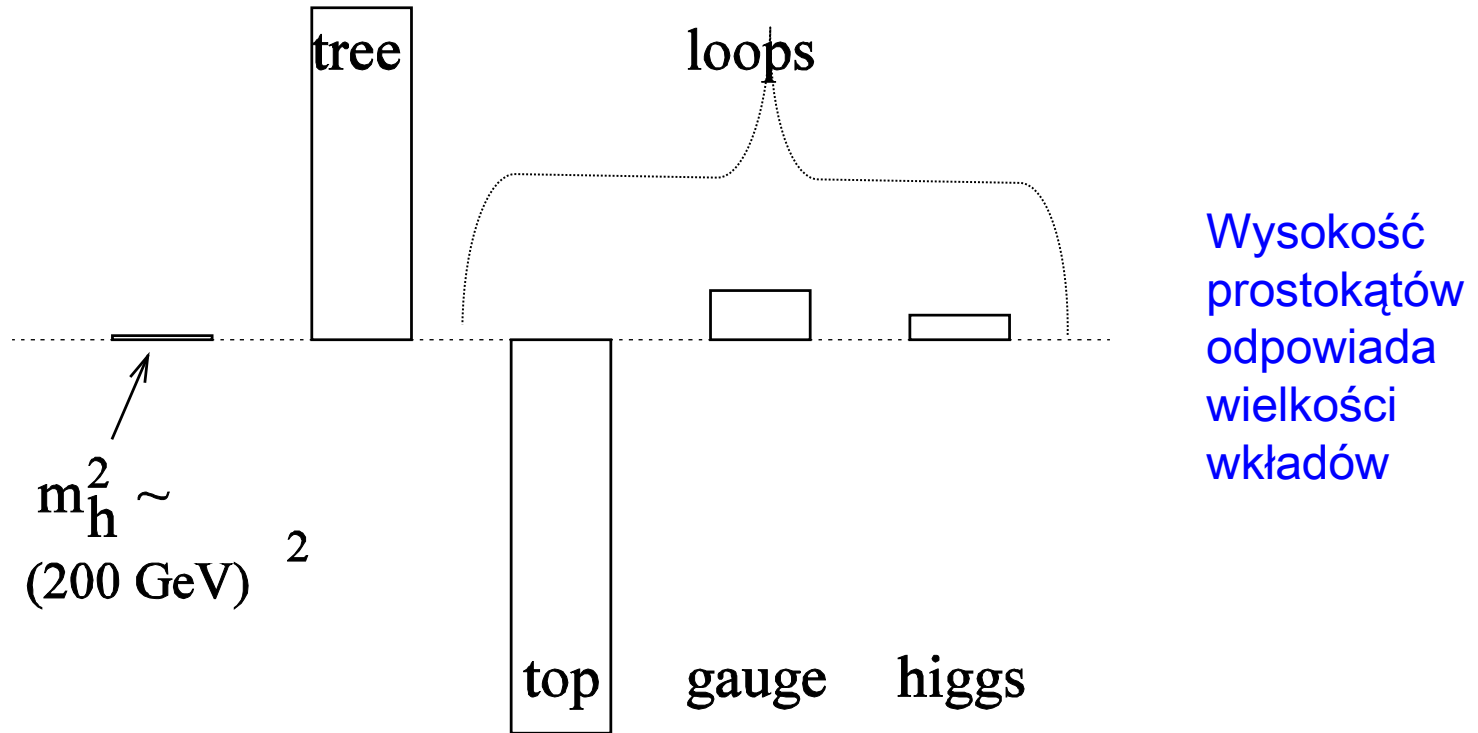
Poprawki kwantowe np. do masy cząstki Higgsa - pętle z energiami dowolnie dużymi. Jeśli uwzględnimy wkłady tylko do energii (skali) Λ

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

Dla masy 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 kwarku 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)

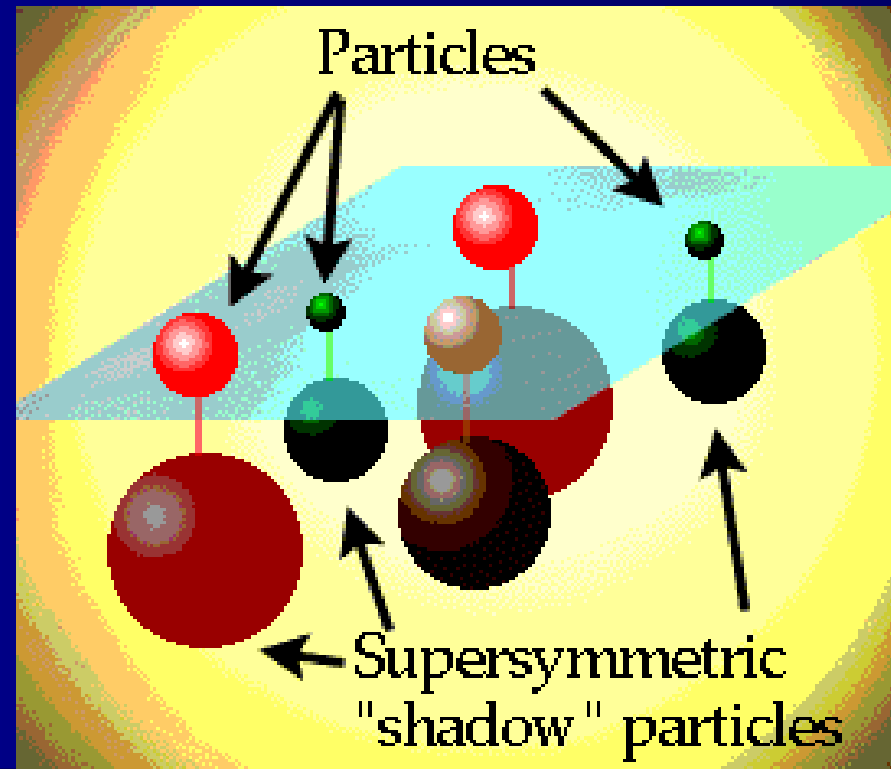
np.

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

SUPERSYMETRIA

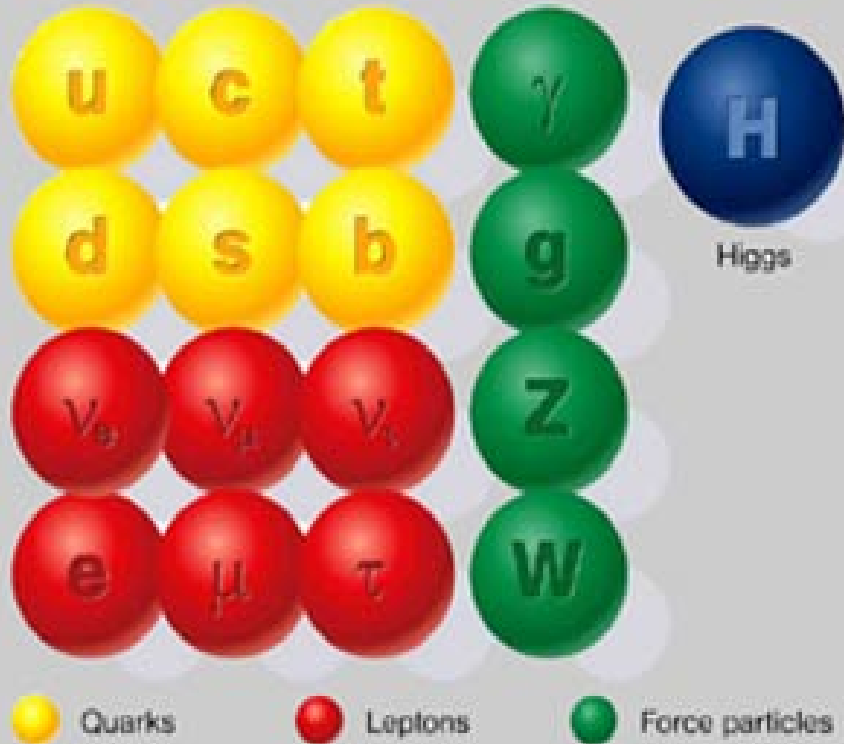
- W przyrodzie tylko dwa typy cząstek: fermiony i bozony
- Supersymetria zakłada symetrię fermion \leftrightarrow bozon, czyli wymaga **podwojenia** składu cząstek fundamentalnych
- Supersymetryczni partnerzy znanych cząstek z MS = cząstki SUSY

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

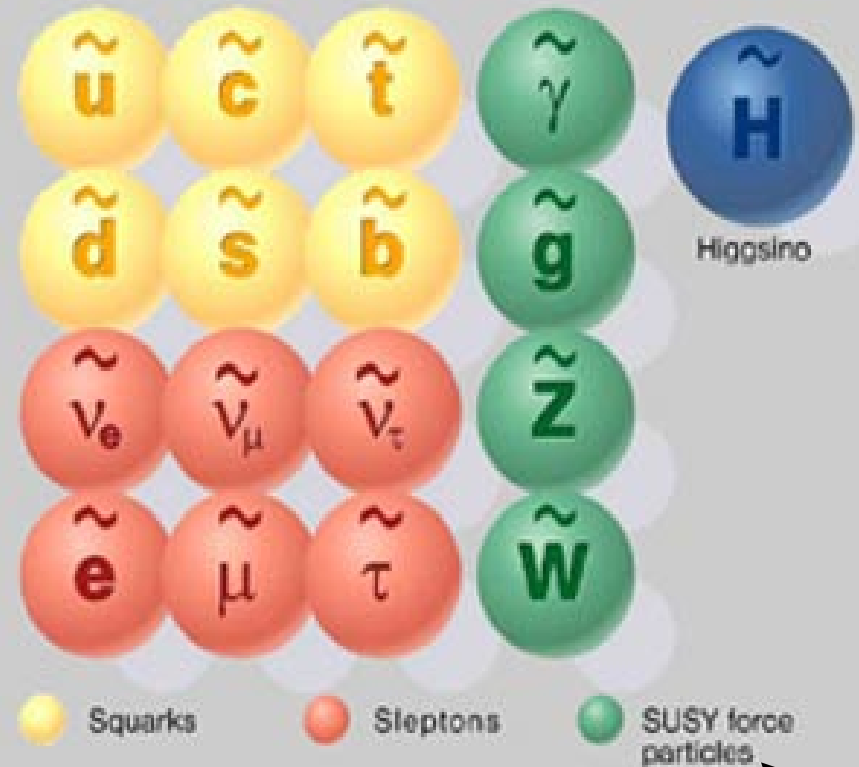


Słodcy partnerzy

Standard particles



SUSY particles



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

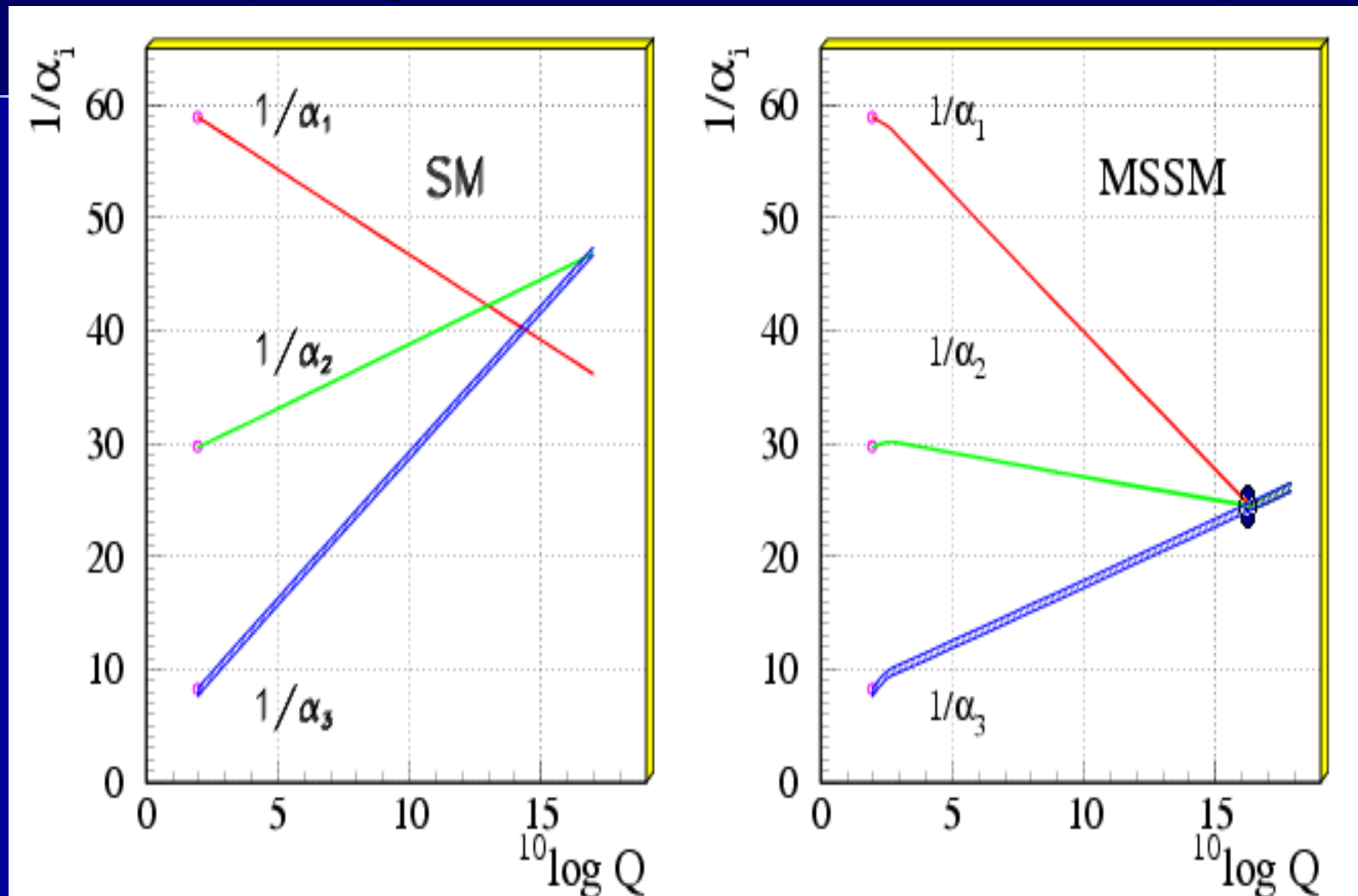
Masy ~ 1 TeV

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 → 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 → 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/ek Higgsa i cząstki SUSY

wciąż brak konkretnych sygnałów dt SUSY...

Pierwsza Teoria Wielkiej Unifikacji: SU(5)

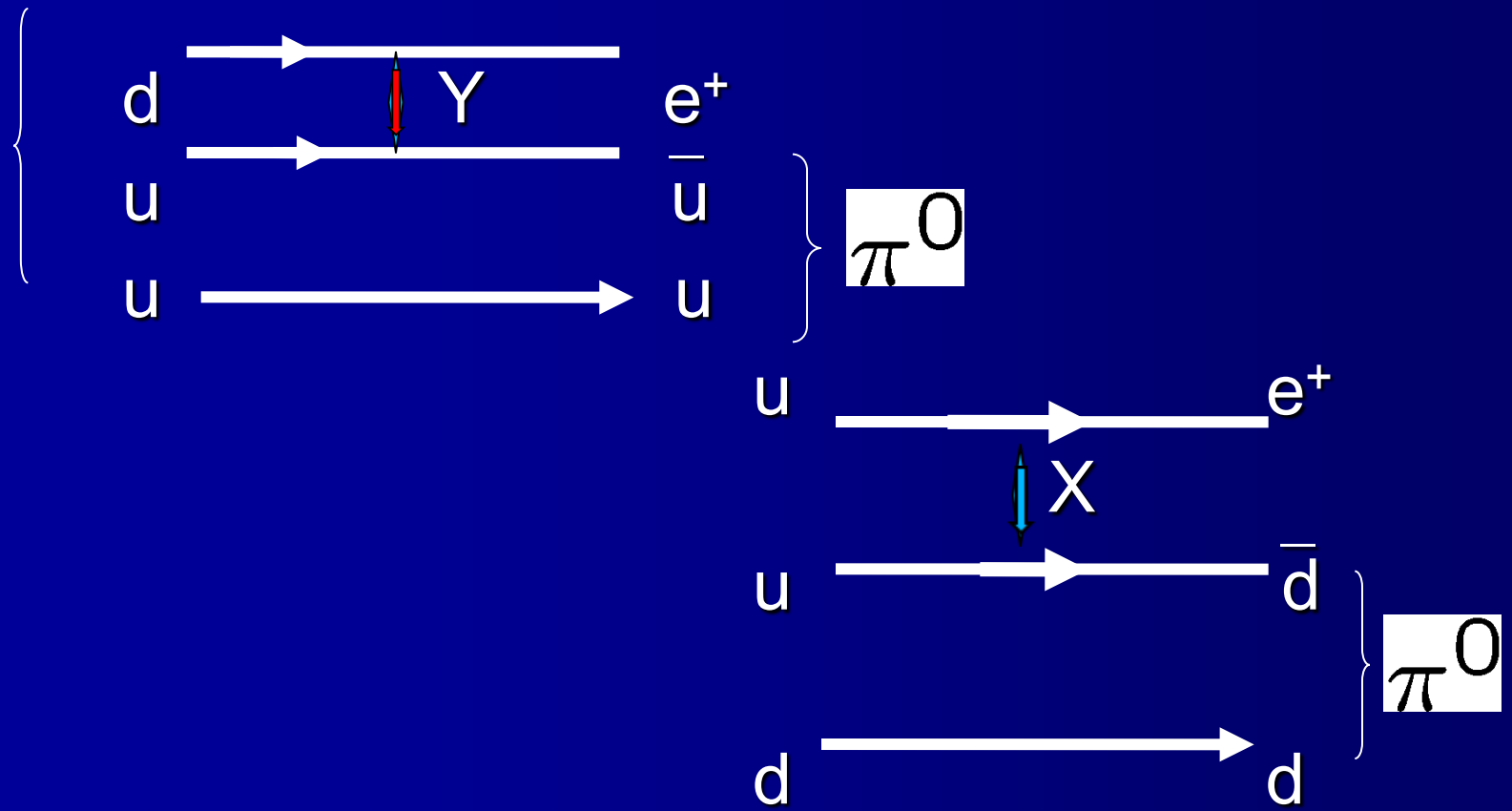
- Symetria cechowania SU(5) (zawiera SU(2)xU(1)xSU(3) jako podgrupę) – idea w 1974 r
Glashow, Georgi
- w multipletach SU(5) zarówno kwarki jak i leptony, stąd możliwość zamiany kwarków w leptony i odwrotnie (niezachowanie liczby barionowej B i leptonowej L!)
- 12 kolorowych bozonów cechowania (leptokwarki):
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 el. :
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 10^{30-31} lat , a dane $>10^{31-33}$ lat
 - dlatego ten model został odrzucony

Przykłady procesów z wymianą X i Y

proton



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 (superstrun)** to spójna i skończona (tzn. bez nieskończoności). Kwantowa teoria grawitacji – ale czy jednoznaczna?

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.



T. Kaluza

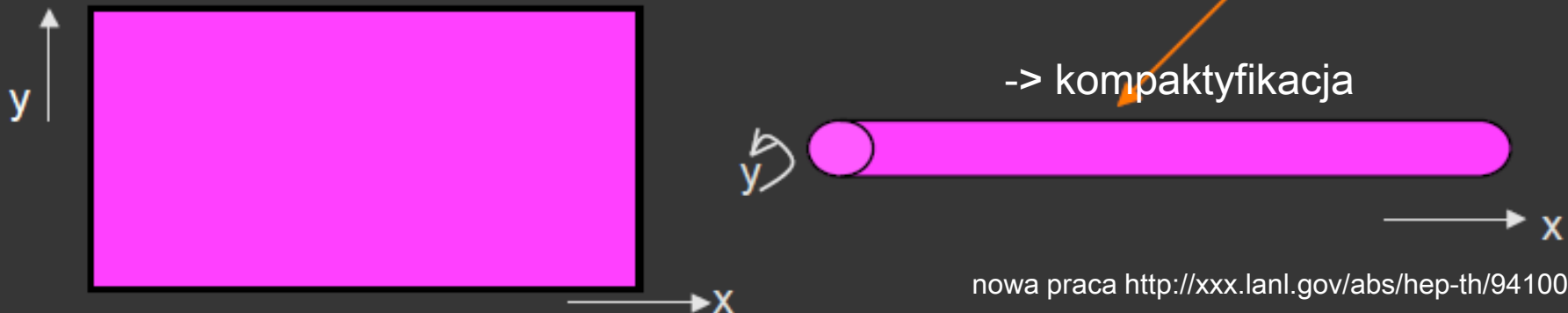


O. Klein

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, jeśli prawo Newtona zmodyfikowane

$$\text{np. } 1/r^2 \rightarrow 1/r^4$$

(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.



DLACZEGO ROZSTAŁAŚ SIĘ Z TYM
FIZYKIEM? TO PODOBNO WYBITNY
NAUKOWIEC?

Z CZASEM PRZESTA-
ŁAM GO SZANOWAĆ.
ZBYT CZĘSTO ZMIĘ-
NIAŁ ZDANIE POD
WPLYWEM FAKTÓW.

Pytania do wykładu 13

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 czasoprzestrzeni?

Jaka jest główna idea teorii superstrun?

Czy teoria superstrun uwzględnia grawitację?

Czy teoria superstrun jest renormalizowalna?

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