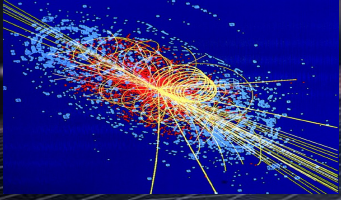


Wszechświat cząstek elementarnych



WYKŁAD 13

Maria Krawczyk, Wydział Fizyki UW

18.V. 2011

Poza Modelem Standardowym

Model Standardowy AD 2011

- Znakomita zgodność z doświadczeniem dla oddziaływań elektroślabych (choć brak cząstki Higgsa) i silnych (choć nie umiemy wyprowadzić z pierwszych zasad mas hadronów)
- Ale są problemy: np. w sektorze elektroślabych poprawki pętlowe i różne skale energii →
problem hierarchii $M_h \ll M_{Pl}$
- Dużo parametrów (masy, stałe sprzężenia, kąty mieszania)
 - Niezerowa masa neutrin..
 - 3 rodziny - dlaczego?
 - Brak kandydatki na ciemną materię
 - Brak unifikacji oddziaływań elektroślabych z silnymi.., z grawitacją..

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.
- **Grawitacja – naturalna skala to skala Plancka**
masa Plancka **1.2×10^{19} GeV**
długość Plancka **1.6×10^{-35} m**

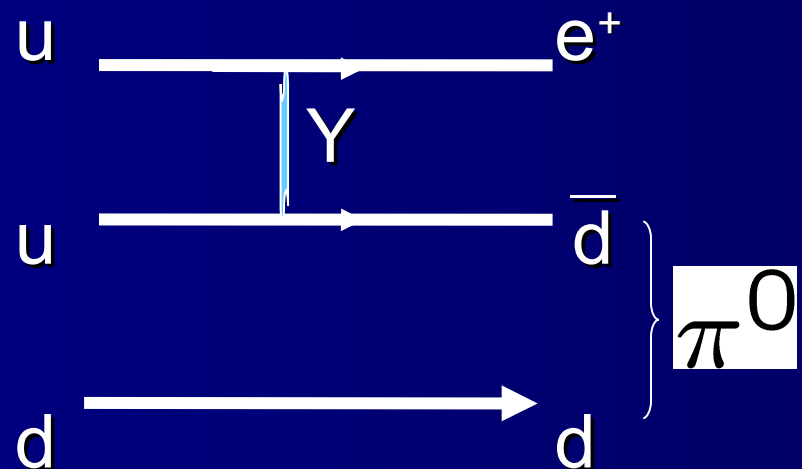
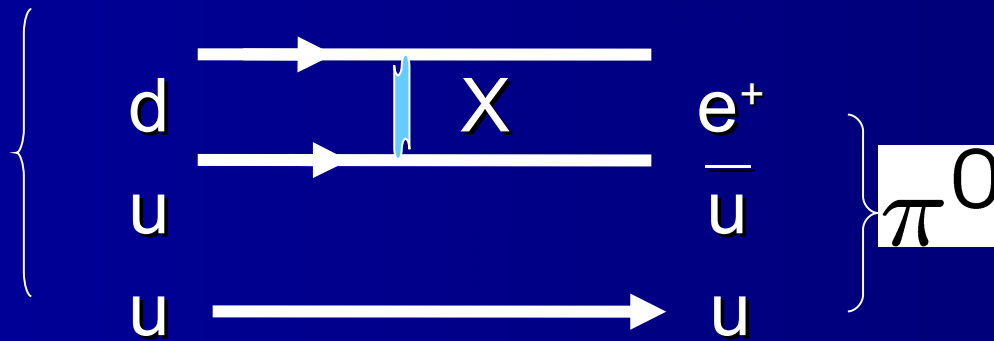
Teoria Wielkiej Unifikacji: SU(5)

- Symetria cechowania SU(5) (zawiera SU(2)xU(1)xSU(3) jako podgrupę) – idea w 1974 r
Glashow, Georgi
- W multipletach zarówno kwarki jak i leptony - możliwość zamiany kwarków w leptony i odwrotnie
- 12 kolorowych bozonów cechowania:
X (ład. el. $-1/3 e$) i Y ($-4/3 e$)
plus gluony, foton, W/Z = 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;
również leptokwarki występują X, Y
- Skwantowanie ładunku el.; ład. el. $e^- = -$ ład. el. p
- Ale proton się rozpada w wyniku wymiany bozonów X i Y za szybko: czas życia 10^{30-31} lat (dane $>10^{31-33}$ lat)

Rozpad protonu $p \rightarrow e^+ \pi^0$

Przykłady procesów z wymianą X i Y

proton



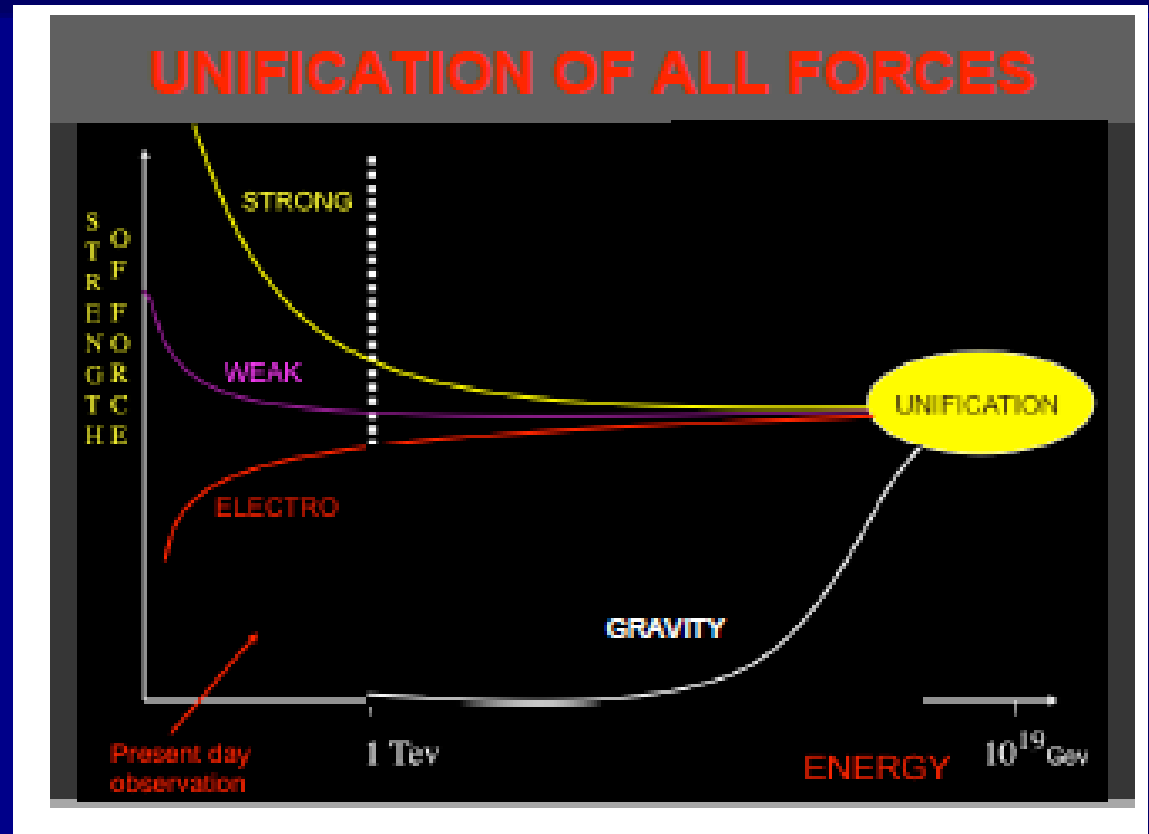
Unifikacja z grawitacją?

- Idea unifikacji oddziaływań fundamentalnych dla bardzo dużych energii – najważniejszy 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 energii Plancka.
Pełna unifikacja sił?

Unifikacja z grawitacją

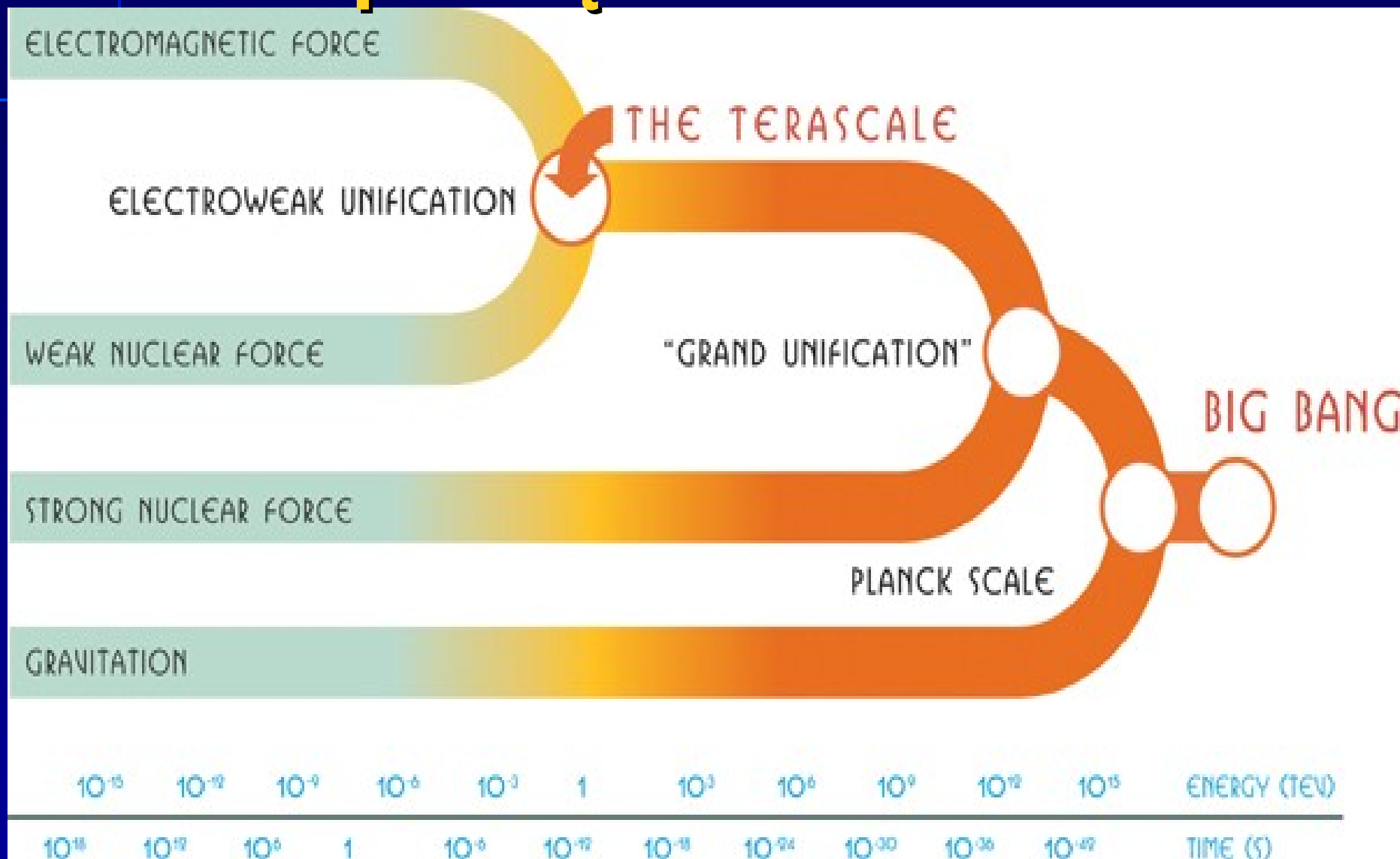
David Gross: The Coming Revolutions in Theoretical Physics

<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 gr. opisuje prawo Newtona
Einstein w 1915-17: oddziaływanie grawitacyjne
powiązał z dynamiką czasoprzestrzeni

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

Trzeba wyjść poza teorię Einsteina, np. teoria strun.
Struny powstały aby opisać oddz. silne (*struny
gluonowe*) → a okazuje się, że grawitacja pojawia
się automatycznie w teorii strun:
spójna i skończona (bez nieskończoności)
kwantowa teoria grawitacji

Kierunki badań

1/ Rozszerzenie symetrii
→ supersymetria

2/ Rozszerzenie czasoprzestrzeni
→ dodatkowe wymiary przestrzenne

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

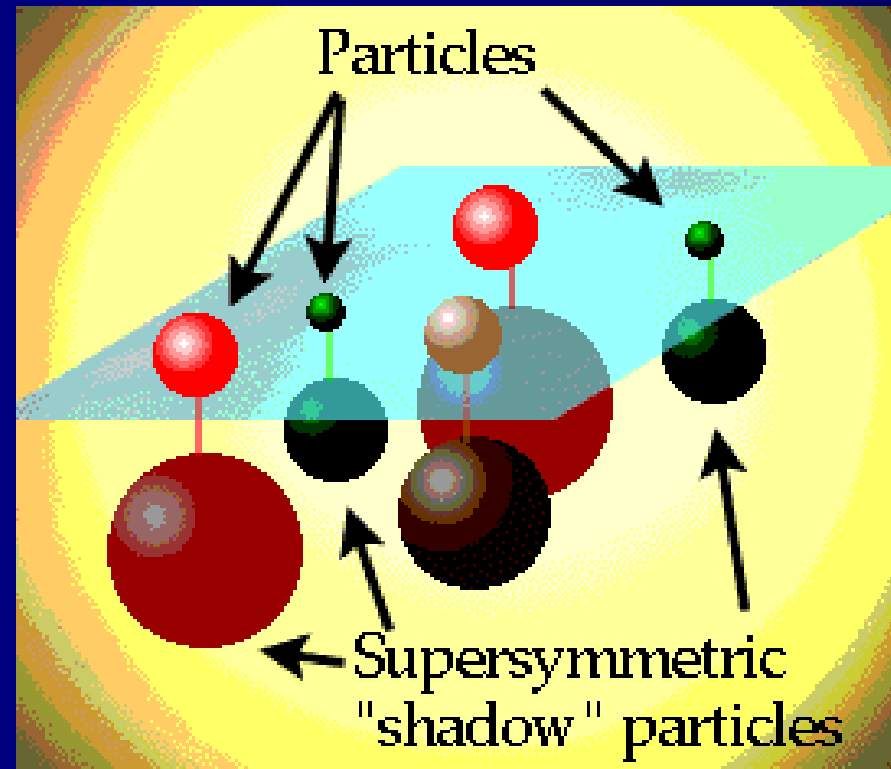
Ku **Teorii Wszystkiego (Theory of Everything)**-
pełna unifikacja wszystkich oddziaływań
fundamentalnych i renormalizowalność

Uwaga- badania nad substrukturą w zaniku

SUPERSYMETRIA

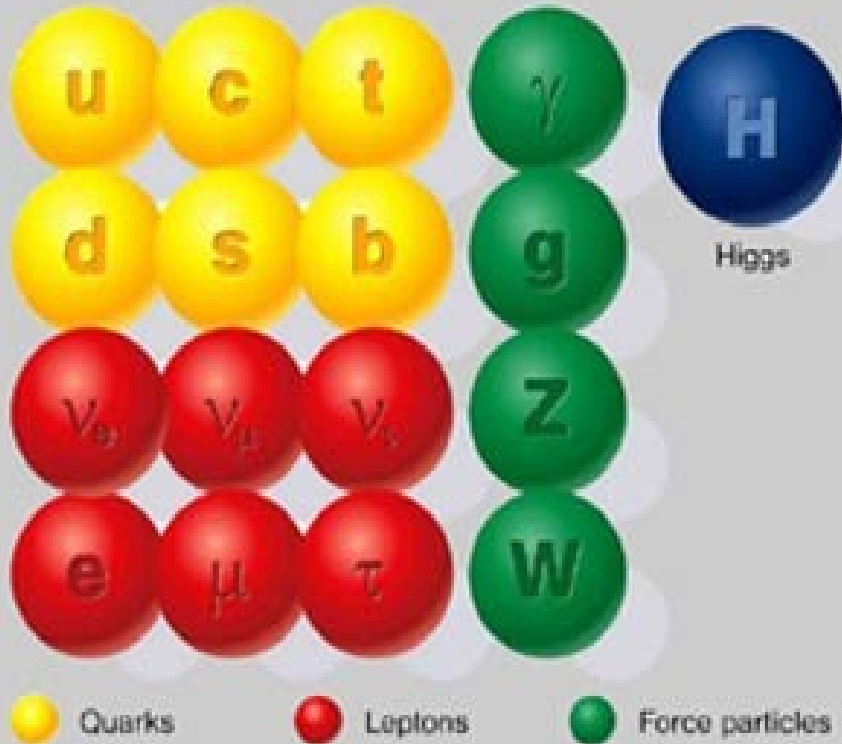
- W przyrodzie dwa typy cząstek: fermiony i bozony
- Supersymetria zakłada symetrię fermion \leftrightarrow bozon, czyli podwojenie składu cząstek
- Supersymetryczni partnerzy znanych cząstek z MS = cząstki SUSY

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

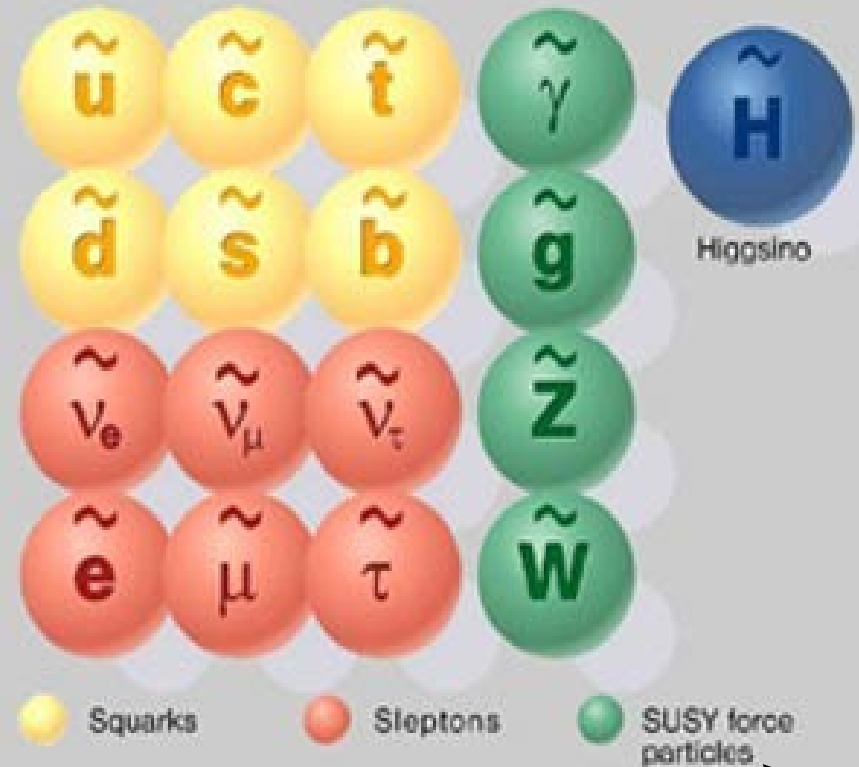


Słodcy partnerzy

Standard particles



SUSY particles



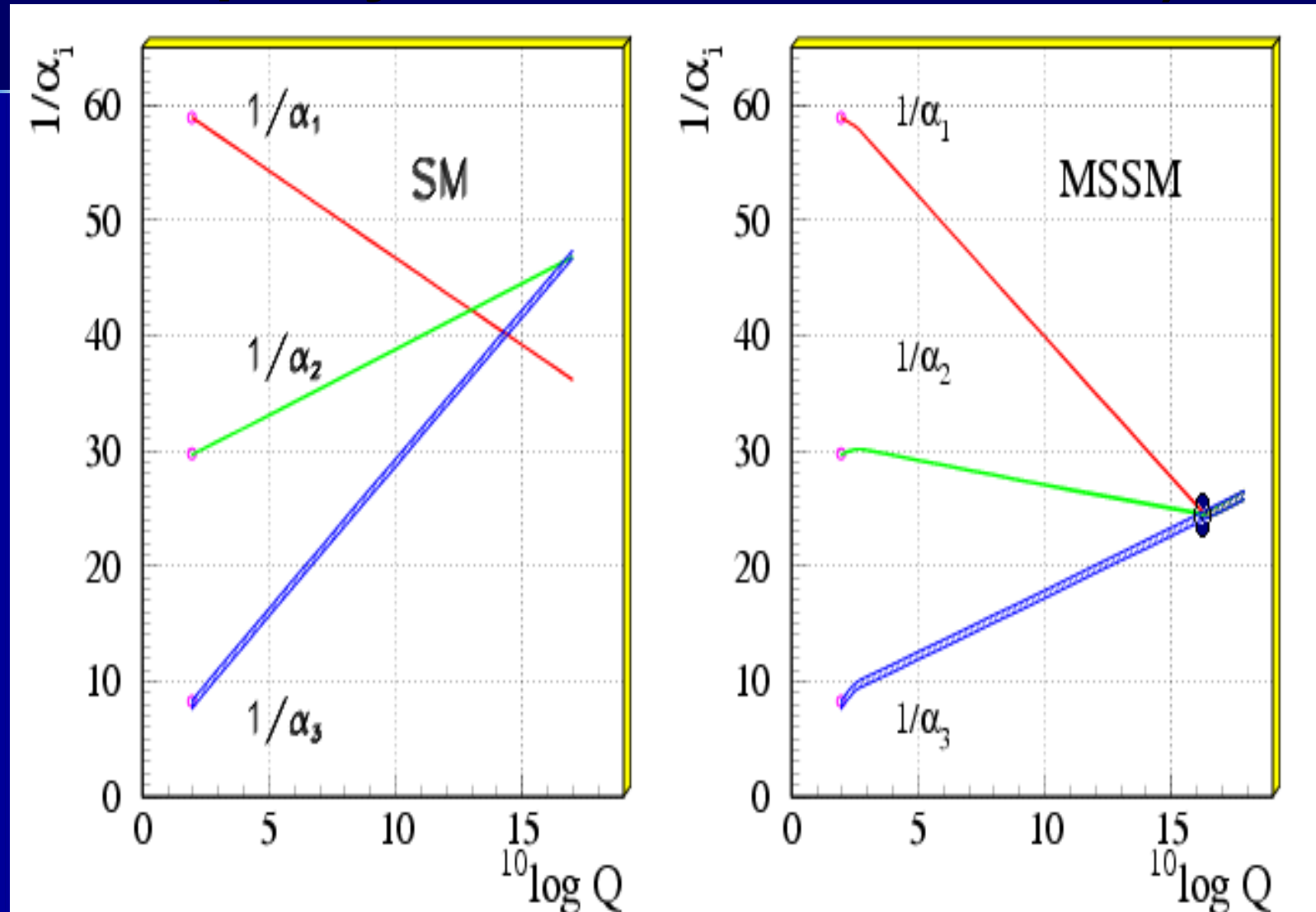
skwarki, sleptony, gaugina, higgsina
spin 0, spin 1/2

Masy ~ 1 TeV

Supersymetria jest super

- Problem hierarchii usunięty – kasowanie się wkładów od fermionów i bozonów w pętlach
- Unifikacja oddziaływań: lepsze „zbieganie” stałych sprzężenia
- Zał. nowa liczba kwantowa **R** i jej zachowanie, więc najlżejsza cząstka SUSY jest trwała → kandydat/tka na **ciemną materię**

Unifikacja sił (SM=Standard Model i MSSM = Minimal Supersymmetric Standard Model)



SUPERSYMETRIA

wg D. Grossa

Odkrycie supersymetrii -
to jak odkrycie kwantowych wymiarów
czaso-przestrzeni

Naturalne i unikatowe rozszerzenie
relatywistycznych symetrii natury

Minimalny Standardowy Model Supersymetryczny MSSM

- sektor Higgsa

- **Dwa** dublety pól skalarnych \rightarrow aby nadać masy wszystkim cząstkom fundamentalnym.
- Przewidywanie 5 cząstek Higgsa (spin zero):
 h, H, A i H^\pm (h jak w SM)

Higgsina o spinie $\frac{1}{2}$

Gaugina (gaudżina, spin $\frac{1}{2}$: *fotino, gluino, wino, zino*)
mieszają się z higgsinami

\rightarrow fizyczne cząstki:

neutralina (neutralne) i **czardżina** (naładowane)

KALUZA-KLEIN THEORY

D.Gross



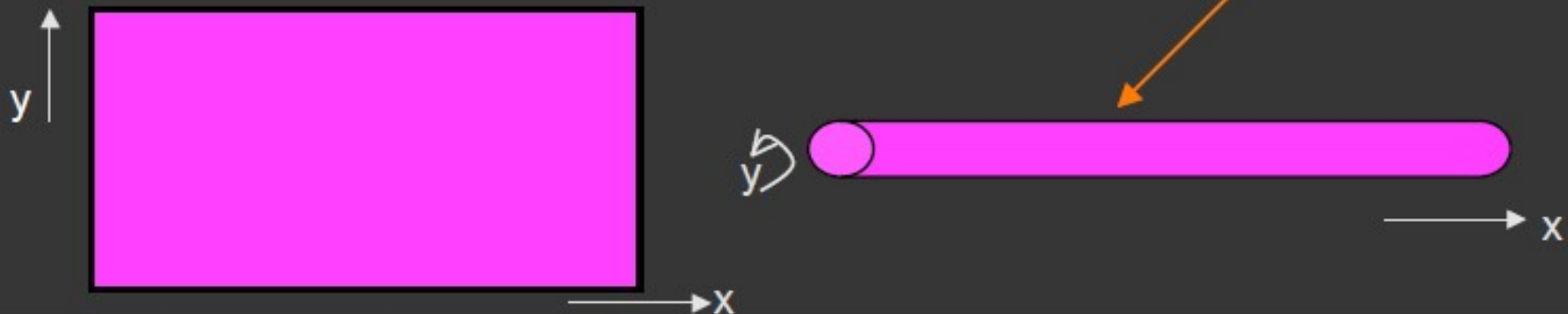
(1919-21) If space-time is dynamical there might exist new, curled up, spatial dimensions.

Jeśli czaso-przestrzeń jest dynamiczna mogą istnieć nowe, zwinięte, wymiary przestrzenne
To może wyjaśnić oddziaływania el-m 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



Superstruny

- Przykład Teorii Wszystkiego (Theory of Everything) – połączenie wszystkich oddziaływań wraz z grawitacją. W kwantowej grawitacji – oddziaływania punktowe, a to prowadzi do osobliwości (nieskończonych wyrażeń)
- Zastępujemy cząstki punktowe **strunami o skończonej długości**
- W grawitacji – skala Plancka
 $l_{Pl}=1.6 \cdot 10^{-35} \text{ m}$, $M_{Pl}=1.2 \cdot 10^{19} \text{ GeV}$
- Cząstki – zamknięte pętle i różne wzbudzenia strun → różne cząstki fundamentalne.
- **Teoria renormalizowalna w przestrzeni o wymiarach 10 lub więcej**
- Parametr opisujący struny α' - ten sam co w oddziaływaniach hadronów (struna gluonowa)!
- Superstruny – wciąż brak konkretnych przewidywań

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

Veltman:

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 13

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?

Ile cząstek Higgsa przewiduje MSSM?

Czy proton jest stabilny w teorii cechowania SU(5)?

Czy istnieją teorie zakładające różną od 4 liczbę wymiarów?

Jaka jest główna idea teorii superstrun?

Czy teoria superstrun uwzględnia grawitację?

Czy teoria superstrun jest renormalizowalna?