

Czego brakuje Modelowi Standardowemu

*Krzysztof Kurek
Narodowe centrum Badań Jądrowych
Otwock-Świerk*

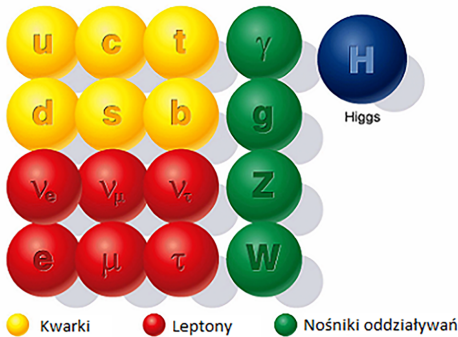


Polish Teacher Programme 2023



Symetria odbić przestrzennych (lustrzana) w naturze jest naruszana (np DNA)
W oddziaływaniach słabych (rozpadach promieniotwórczych) związana z tą symetrią parzystość P jest niezachowana.

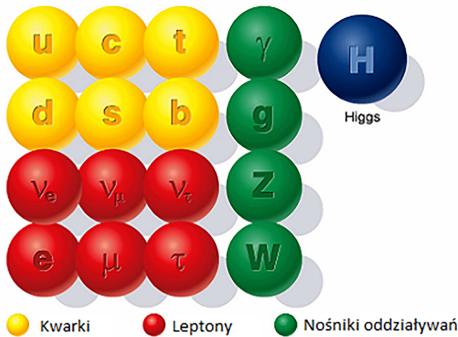
Cząstki standardowe



W modelu standardowym symetria odbić przestrzennych P jest naruszona maksymalnie tzn. od. słabe są opisywane poprzez lewoskrętne kombinacje cząstek, przy czym w sektorze leptonów neutrina są bezmasowe a kwarki „mieszają” się w tych oddziaływaniach.

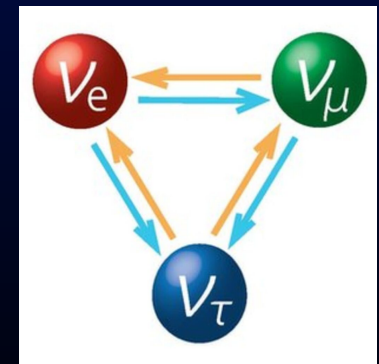
Symetria odbić przestrzennych (lustrzana) w naturze jest naruszana (np DNA)
W oddziaływaniach słabych (rozpadach promieniotwórczych) związana z tą symetrią parzystość P jest niezachowana.

Cząstki standardowe



W modelu standardowym symetria odbić przestrzennych P jest naruszona maksymalnie tzn. od. słabe są opisywane poprzez lewoskrętne kombinacje cząstek, przy czym w sektorze leptonów neutrino są bezmasowe a kwarki „mieszają” się w tych oddziaływaniach.

Okazuje się jednak, że neutrino też się mieszają



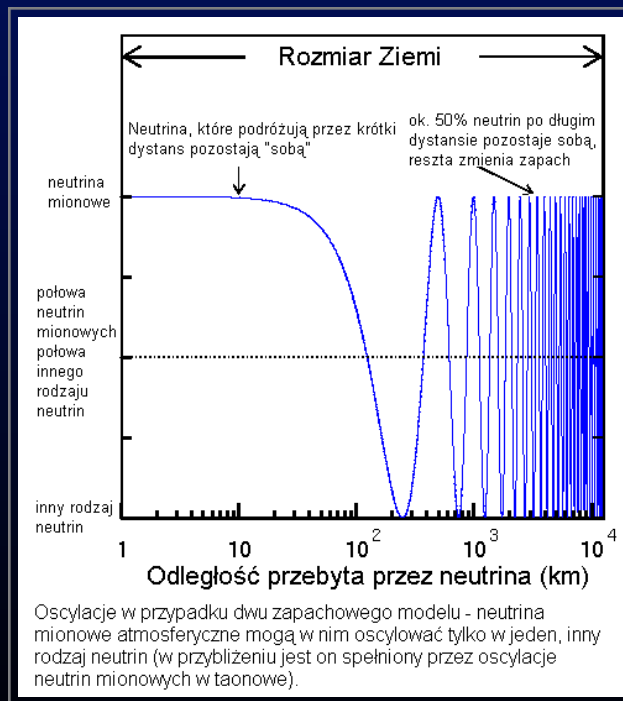
Neutrina i o co chodzi z tym mieszaniem?

źródła neutrin: Słońce, atmosfera, wybuchy supernowych, reaktory, akceleratory poprzez produkcję nietrwałych cząstek rozpadających się słabo



Model Słońca - przewiduje strumień neutrin na powierzchni Ziemi - mierzy się ich za mało !

Neutrina atmosferyczne mierzone po przejściu przez Ziemię też „zanikają”



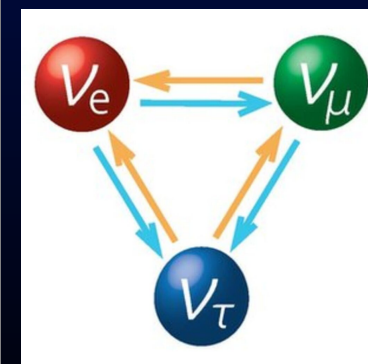
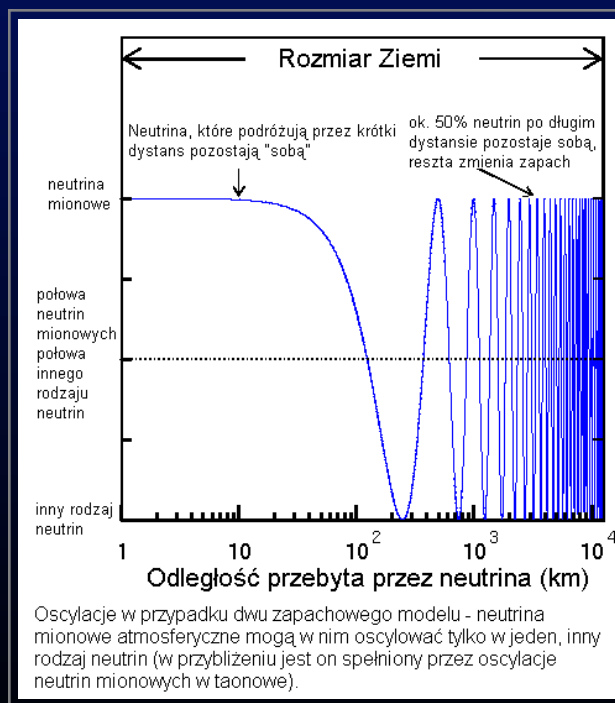
Neutrina i o co chodzi z tym mieszaniem?

źródła neutrin: Słońce, atmosfera, wybuchy supernowych, reaktory, akceleratory poprzez produkcję nietrwałych cząstek rozpadających się słabo



Model Słońca - przewiduje strumień neutrin na powierzchni Ziemi - mierzy się ich za mało !

Neutrina atmosferyczne mierzone po przejściu przez Ziemię też „zanikają”



Neutrina i o co chodzi z tym mieszaniem?

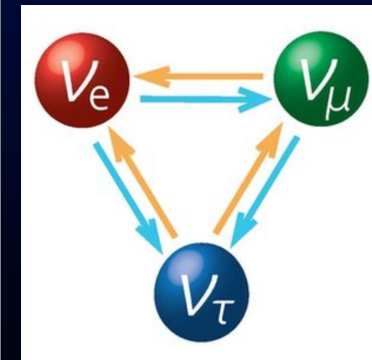
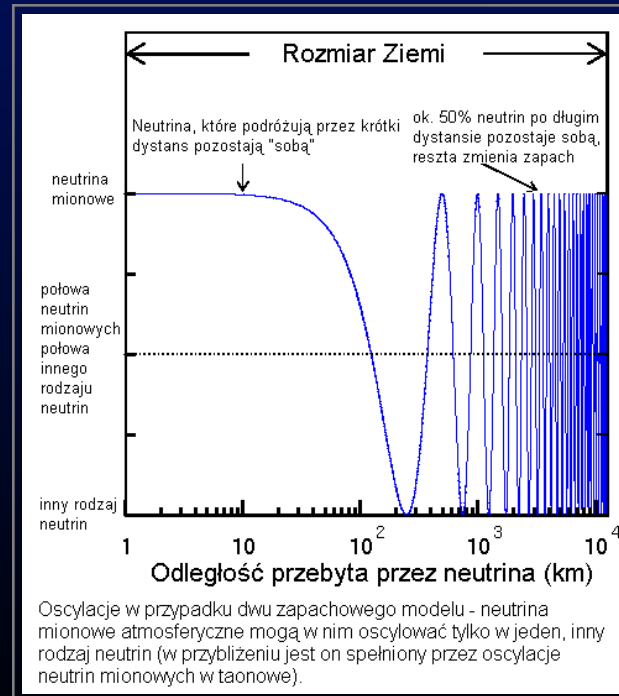
źródła neutrin: Słońce, atmosfera, wybuchy supernowych, reaktory, akceleratory poprzez produkcję nietrwałych cząstek rozpadających się słabo



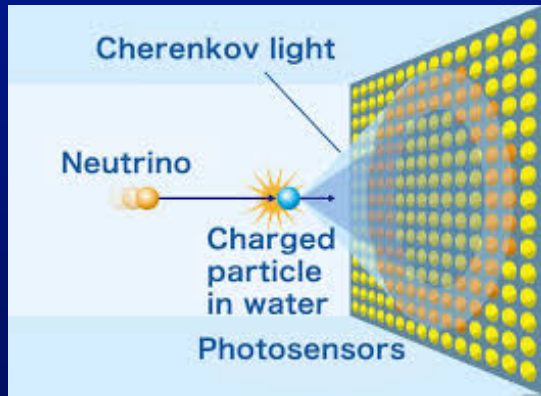
Model Słońca - przewiduje strumień neutrin na powierzchni Ziemi - mierzy się ich za mało !

Neutrina atmosferyczne mierzone po przejściu przez Ziemię też „zanikają”

Warunkiem przechodzenia - oscylacji - neutrin jest ich masa (nie mogą być bezmasowe)



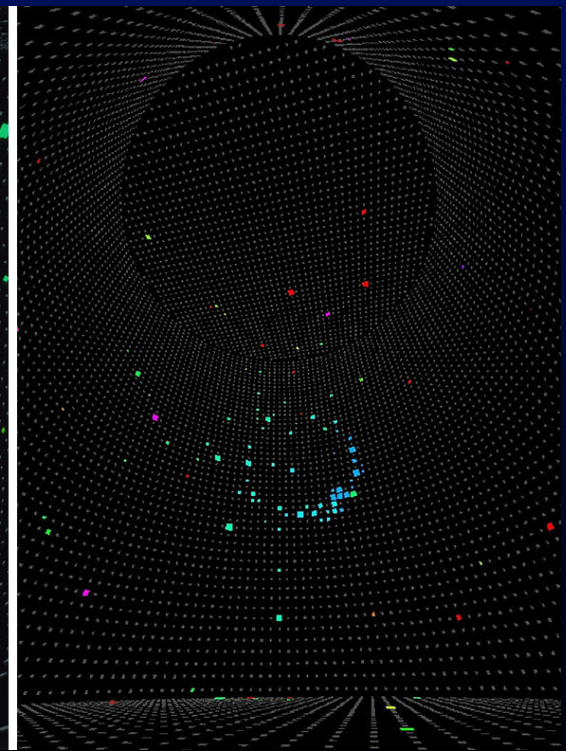
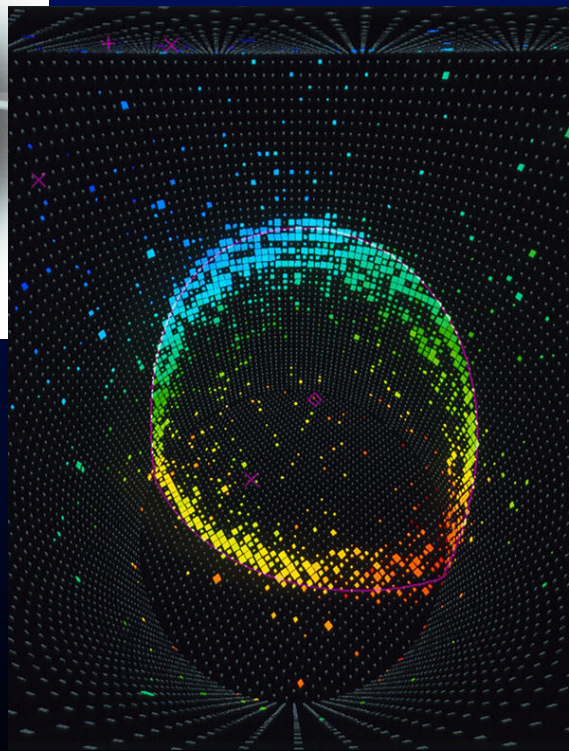
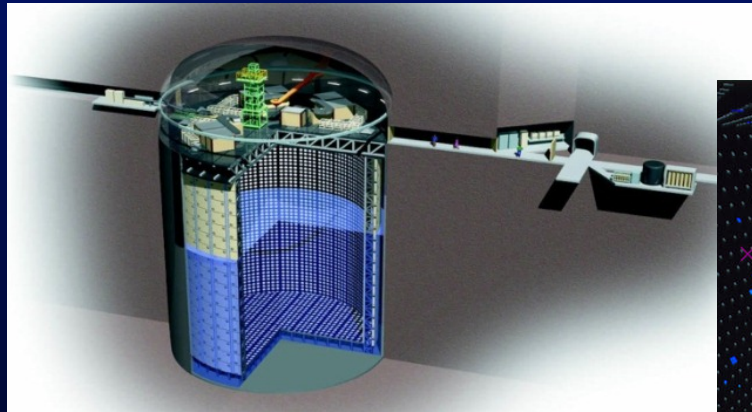
Neutrino i ich pomiar

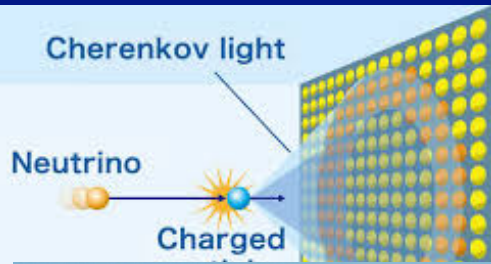


Nagroda Nobla 2015:

Arthur B. McDonald (Kanada) - SNO

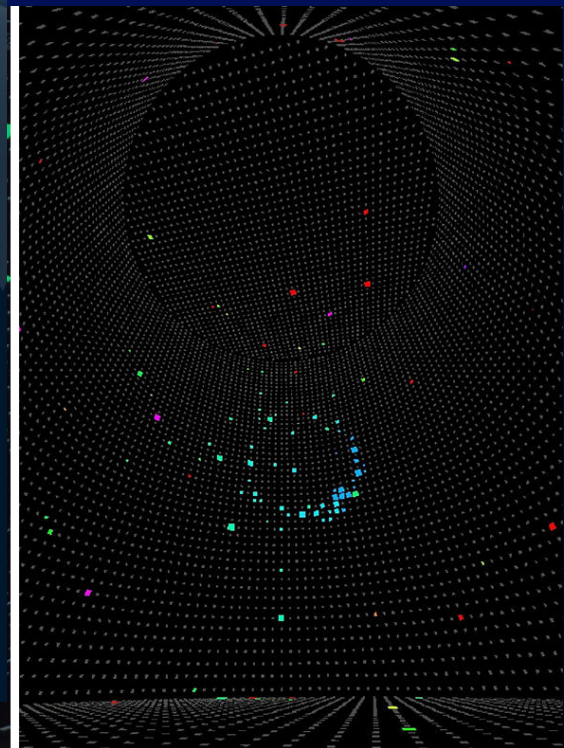
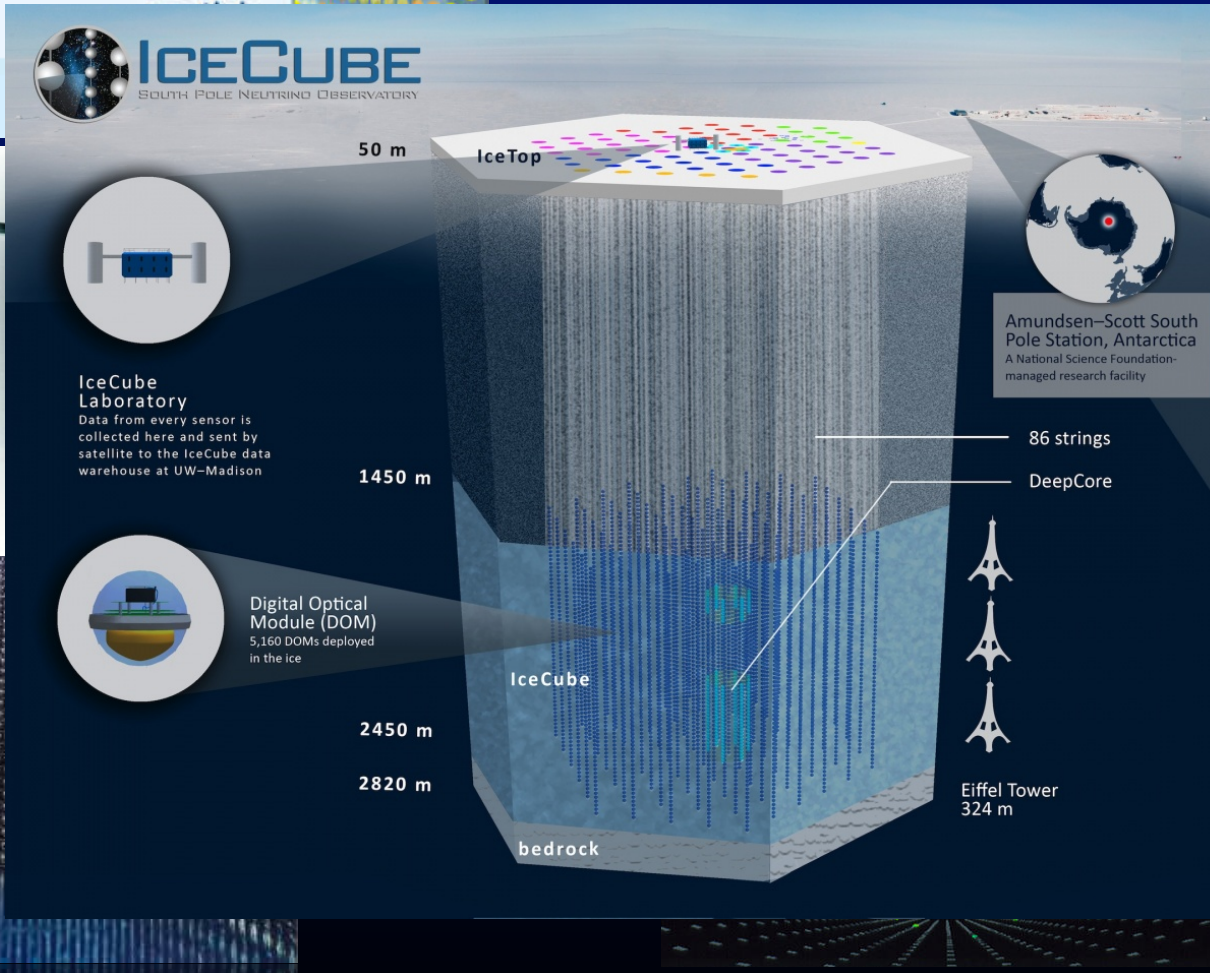
Takaaki Kajita (Japonia) - T2K



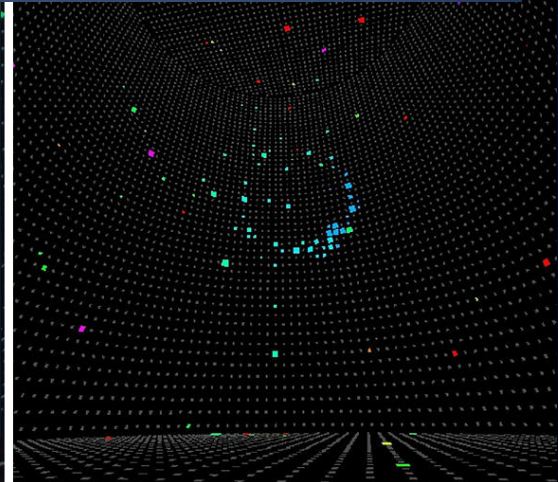
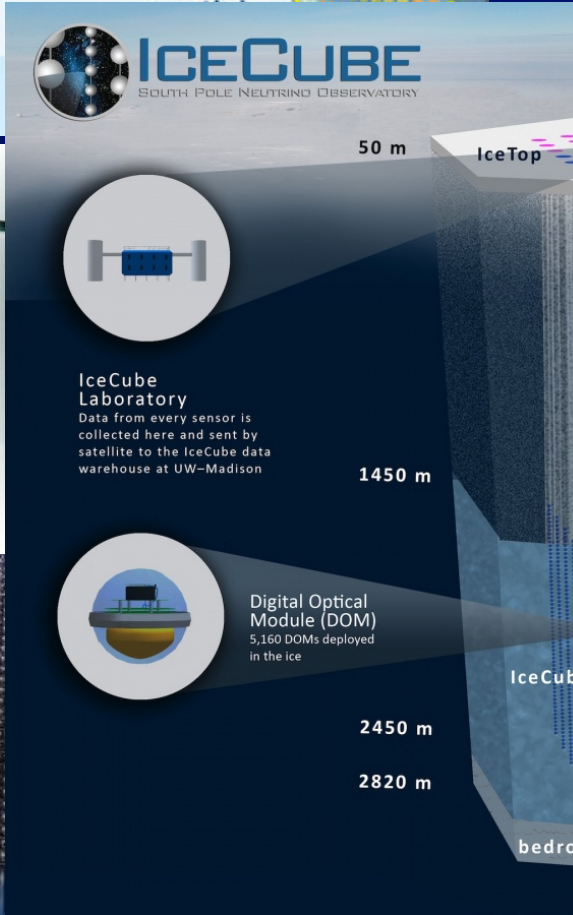
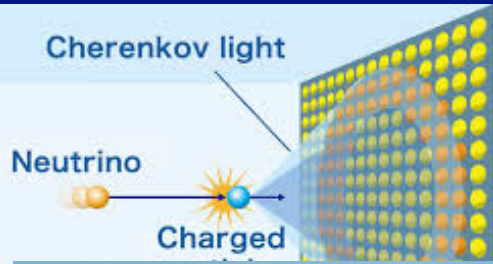


Nagroda Nobla 2015:

Arthur B. McDonald (Kanada) - SNO
Takaaki Kajita (Japonia) - T2K



Nagroda Nobla 2015:



Model Standardowy - co dalej, czy to koniec drogi?

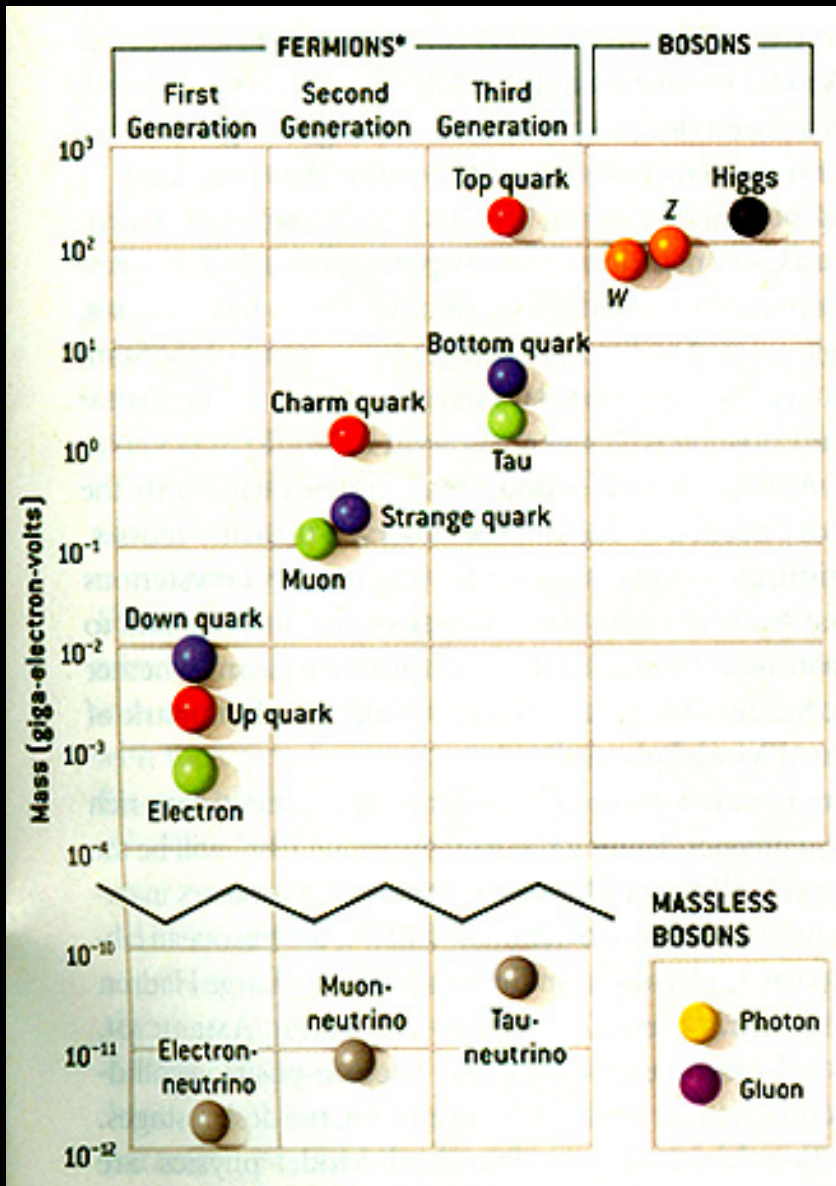


Gdzie tu “tkwi” grawitacja !!!

Masy cząstek:
neutrino - bardzo mała masa
elektron - 0.5 MeV ($\sim 10^{-30}$ kg)
kwark t - 174 000 MeV

ponad 350 000 razy większa
Dlaczego?

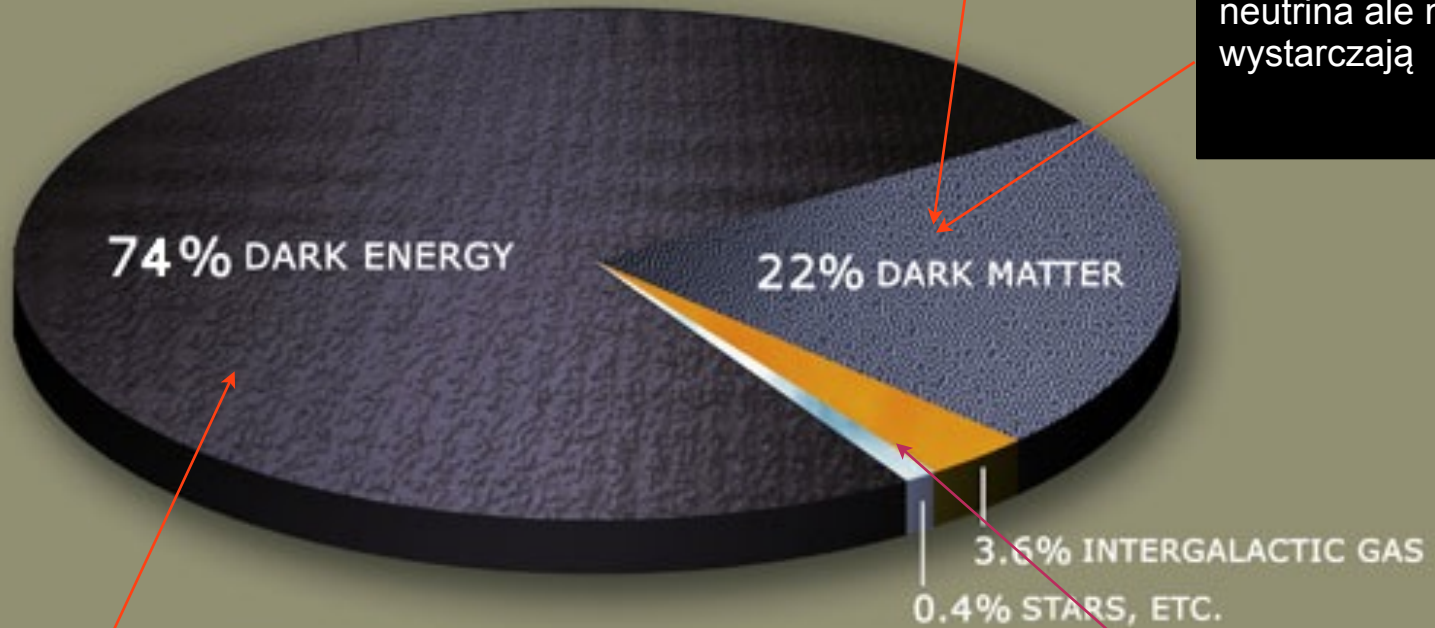
Masy cząstek Modelu Standardowego



Ogromne różnice mas cząstek,
Nie umiemy tego wyjaśnić

MS ma 19 swobodnych parametrów
których wartości trzeba wyznaczyć
ale nie ma teorii, która by
wyjaśniała ich wartości

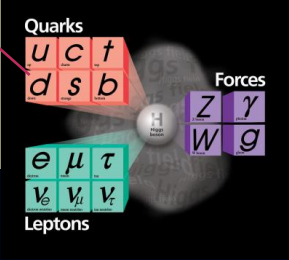
Nie wiemy dlaczego są 3 generacje
cząstek.



ruch gwiazd w galaktykach wymaga obecności ciemnej materii. Vera Rubin, 1970

mogłyby być neutrina ale nie wystarczają

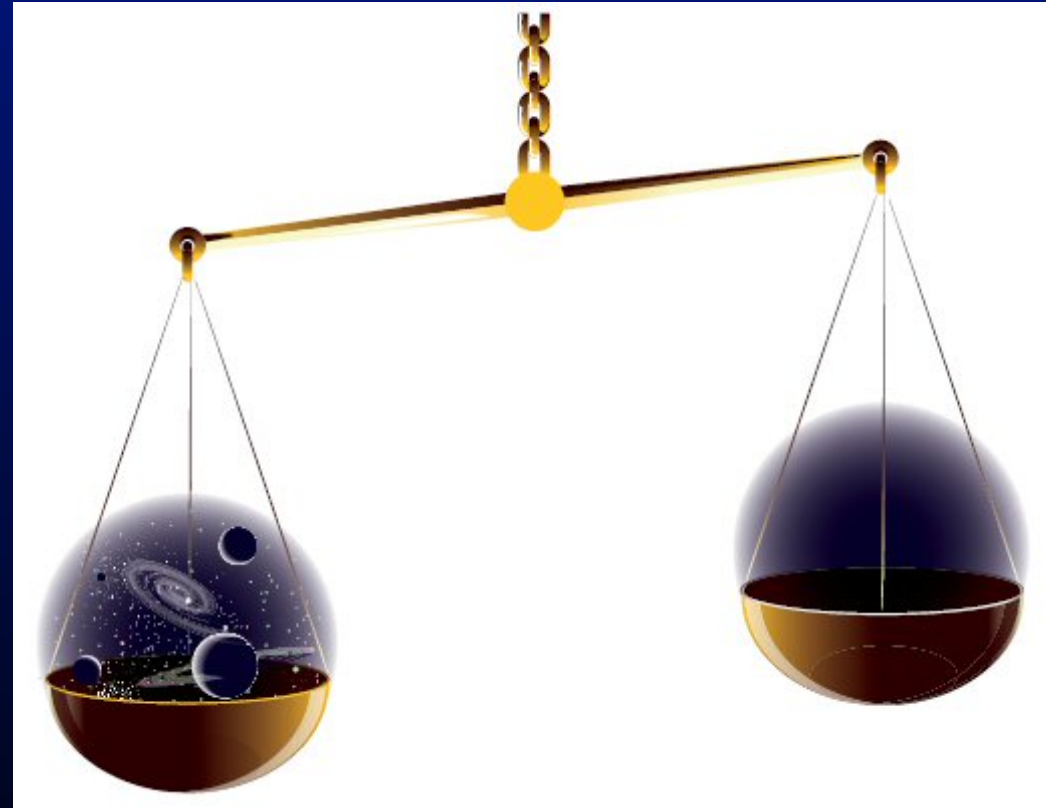
Powoduje ekspansję wszechświata, ma charakter odpychającej grawitacji



Bariogeneza i leptogeneza

Nie rozumiemy dlaczego mamy więcej materii niż antymaterii

Nie rozumiemy Bariogenezy i Leptogenezy



materia + antymateria \rightarrow fotony

We wczesnej fazie wyprodukowana została niewielka nadwyżka materii:
1 cząstka na 10^{10} par cząstka-antycząstka

Do wyjaśnienia tej nadwyżki potrzebne jest „złamanie” symetrii CP
Nie wynika z zasad pierwszych - jest faktem doświadczalnym

Zaobserwowano naruszenie CP w 1964 roku w rozpadach mezonów K
Cronin i Fitch - Nagroda Nobla w 1980 r.

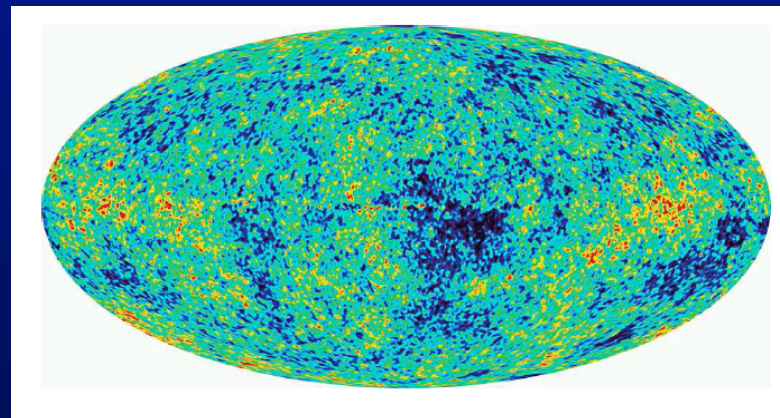
W MS przewidywane jest łamanie CP poprzez różne mechanizmy w rozpadach
jak i w mieszaniu stanów ale jest $\sim O(10^{-20})$ — **Za mało!!**

Poszukiwanie Nowej Fizyki poza MS poprzez
precyzyjne pomiary naruszenia CP w różnych
procesach (LHCb)

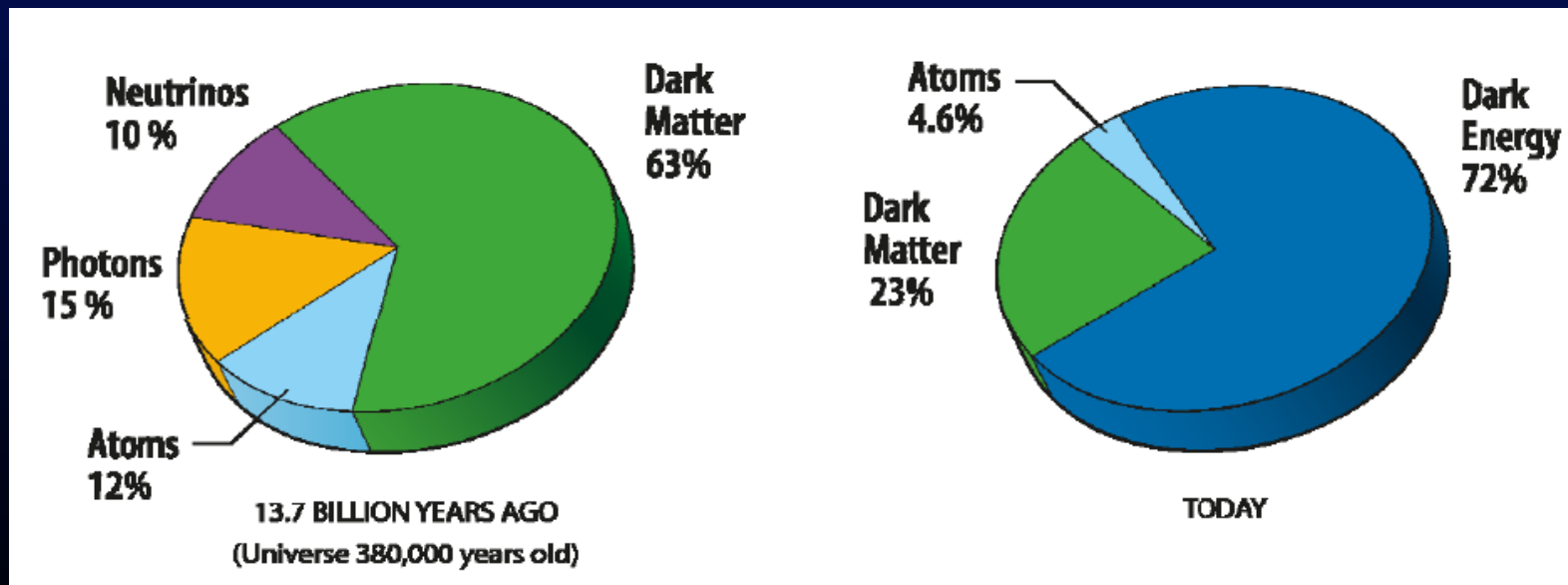
Bariogeneza

Nie rozumiemy dlaczego mamy więcej materii niż antymaterii

Nie rozumiemy Bariogenezy i Leptogenezy



promieniowanie ciała doskonale czarnego o $T \sim 2.7$ K, z fluktuacjami $\Delta T \sim 100 \mu\text{K}$

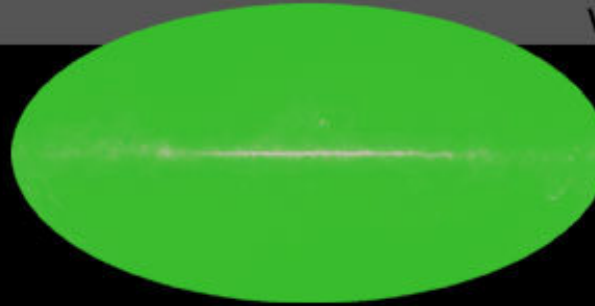


Promieniowanie tła

1965



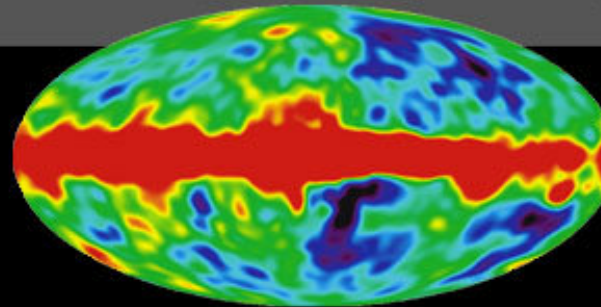
Penzias and
Wilson



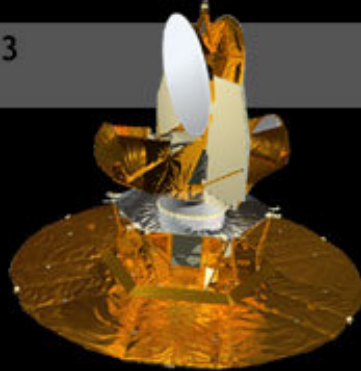
1992



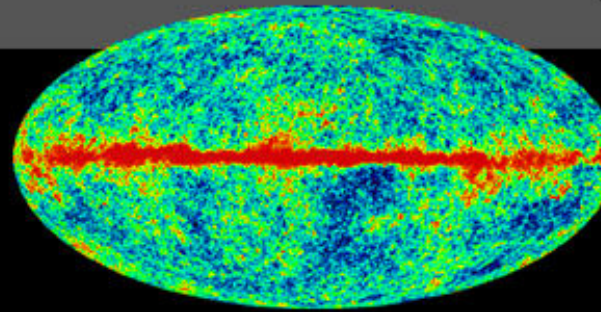
COBE



2003



WMAP



Skala Placka:

$$M_P = \sqrt{\frac{hc}{G_N}} \Rightarrow M_P c^2 \approx 10^{18} \text{ GeV}$$

$$\frac{M_P}{M_{W^\pm, Z^0}} \approx 10^{16}$$

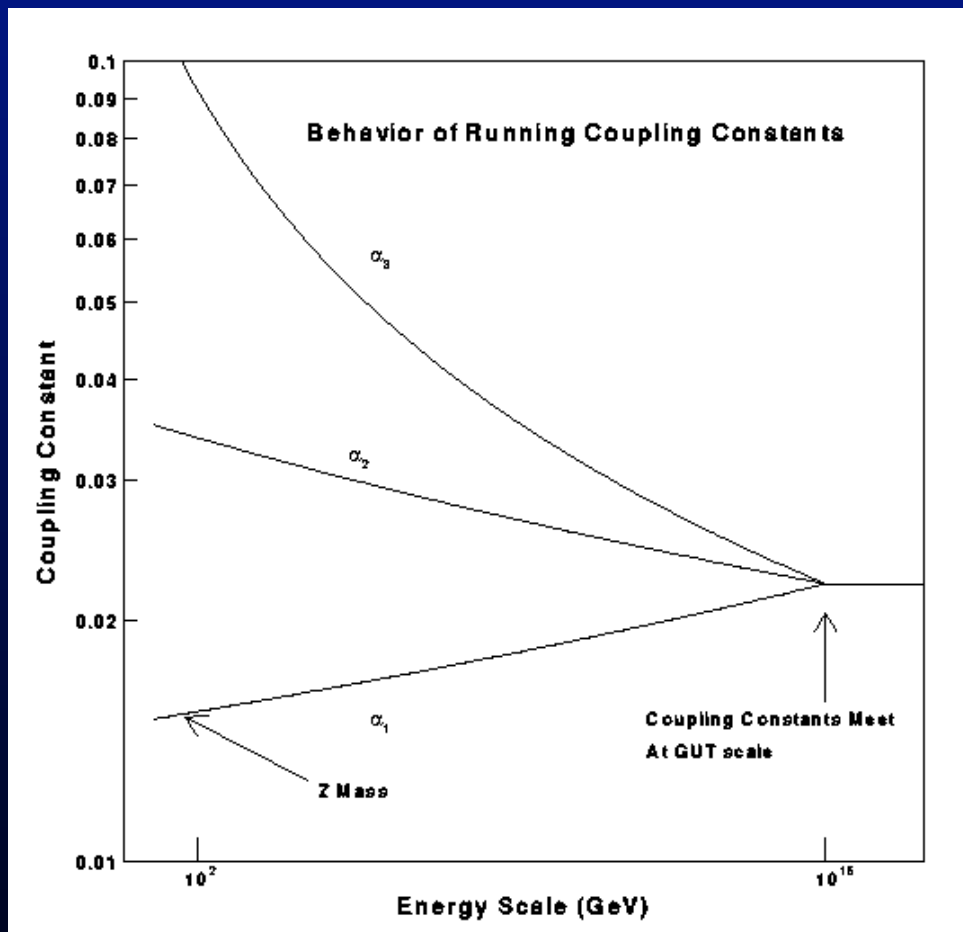
zadziwiająca różnica skal!!

Jeszcze gorzej: Dlaczego oddziaływania słabe są 10^{32} razy silniejsze niż grawitacyjne?

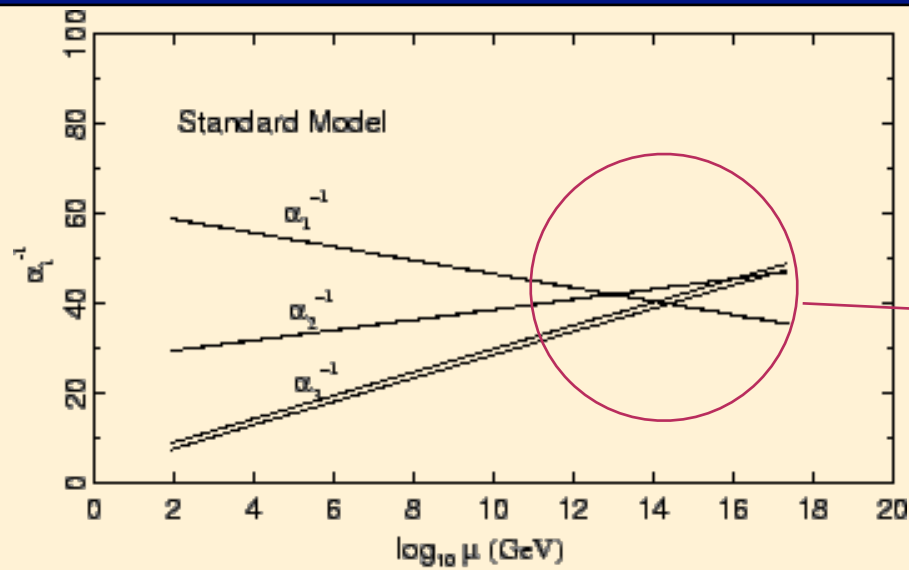
Raczej sugeruje to obecność skali pośredniej, rzędu $\sim \text{TeV}$

Technicznie: problem **bardzo precyzyjnego kasowania się tzw. poprawek do masy Higgsa** (dla cząstki skalarnej są bardzo duże bo kwadratowe, rzędu skali nowej teorii lub skali Plancka a muszą się skasować do masy rzędu GeV.

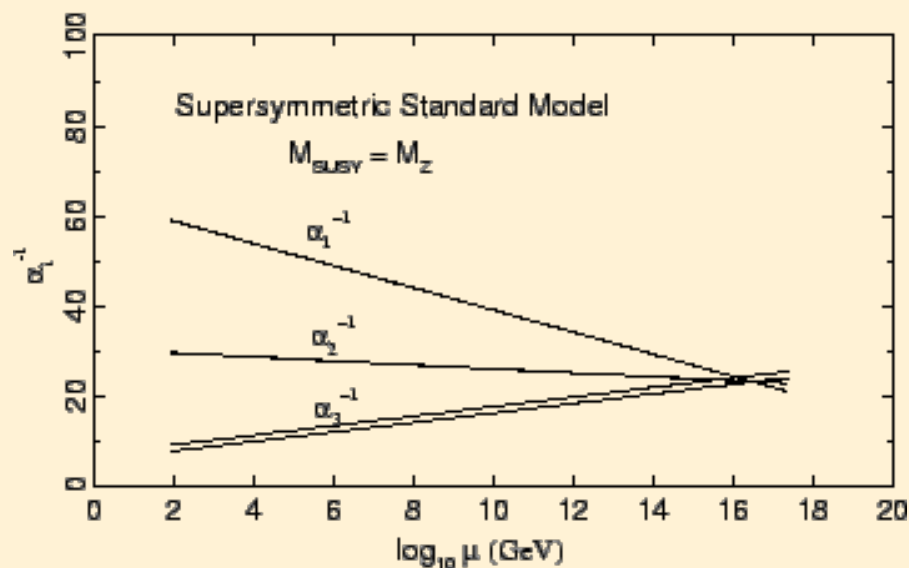
1 GeV = 10^{-16} m = 10^{-25} s = 10^{13} K = Wszechświat w 10^{-7} s po Wielkim Wybuchu



Jeżeli wszystkie oddziaływania mają być przejawem jednego to “ładunki” różnych oddziaływań (kolor, elektryczny i słaby) powinny się “spotkać” - przy pewnej skali unifikacji



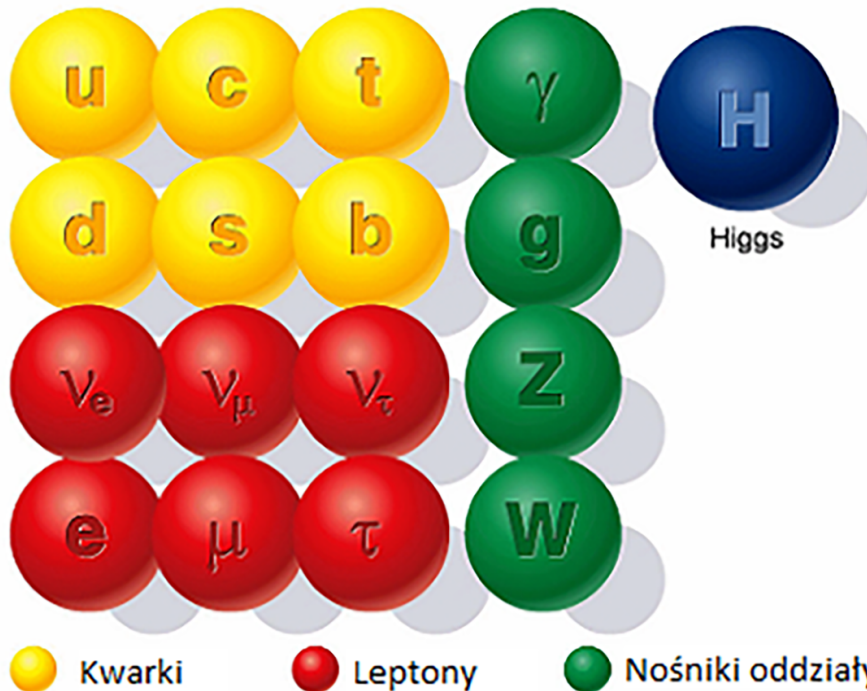
W MS nie daje się tak zunifikować teorii - MS nie ma szansy na ogólną teorię wszystkich oddziaływań, nawet jeśli nie rozważamy grawitacji



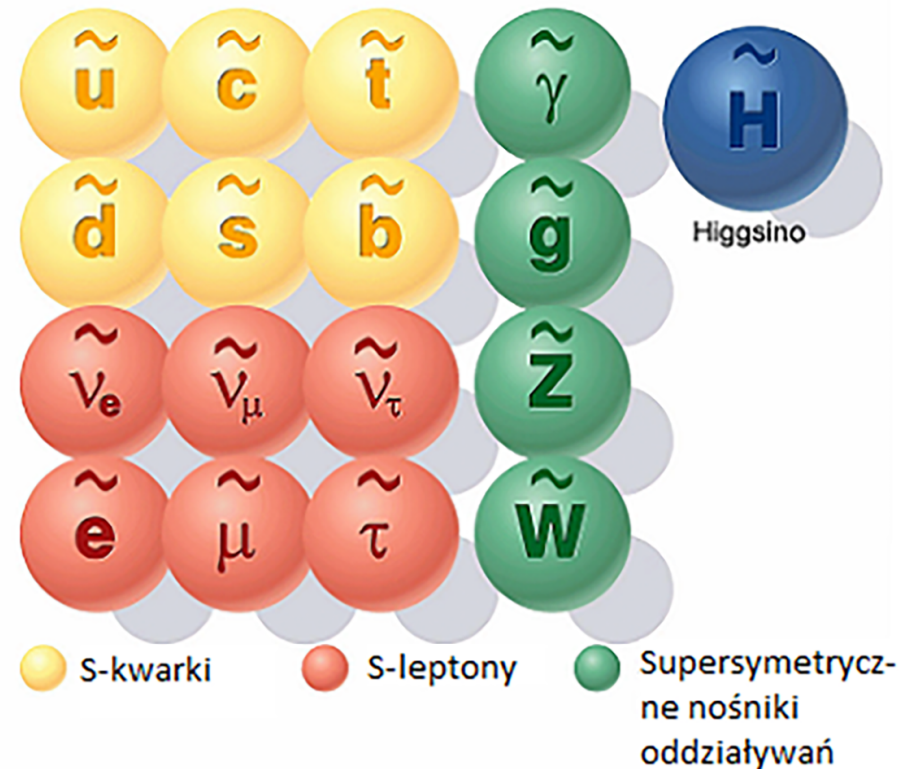
Jest kilka sposobów na rozszerzenie MS.

Jednym z nich jest **supersymetria**

Cząstki standardowe



Cząstki supersymetryczne



Supersymetria: symetria łącząca cząstki o różnych spinach: bozony (siły) z fermionami (materia)

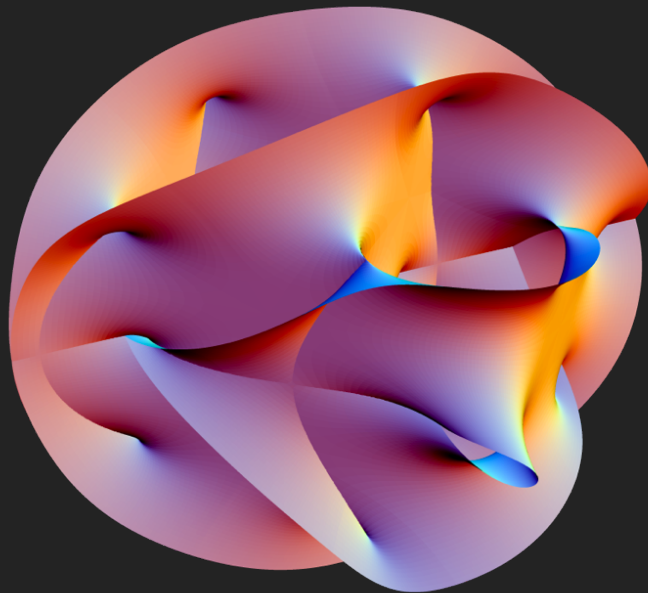
- Supersymetria musi być **naruszona spontanicznie** (brak cząstek SUSY o masach rzędu TeV)
- Nieznany jest mechanizm tego łamania (wiele sposobów)
- Duża liczba nowych cząstek i parametrów (124) ale przy pewnych dodatkowych warunkach można zredukować ich liczbę do podobnej ilości jak w MS
(MinimalnySupersymetryczny SM)

Supersymetria: symetria łącząca cząstki o różnych spinach: bozony (siły) z fermionami (materia)

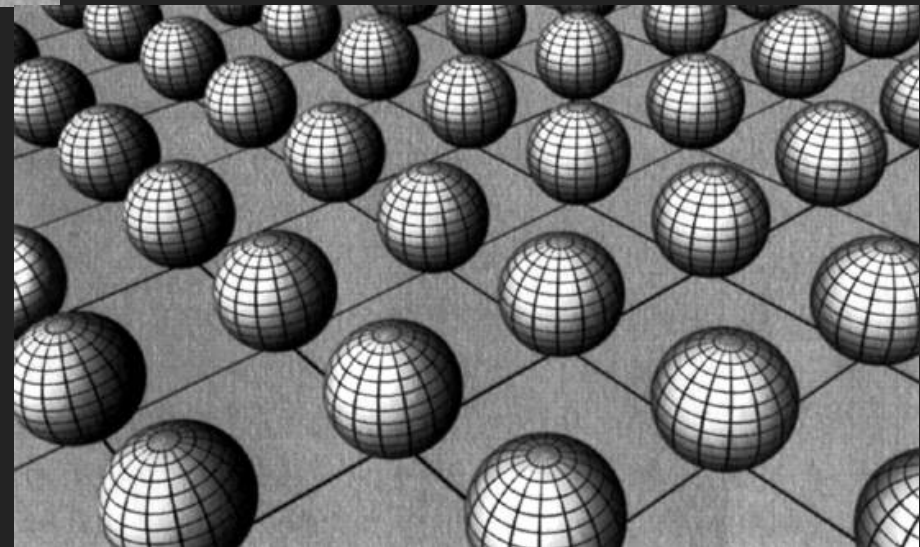
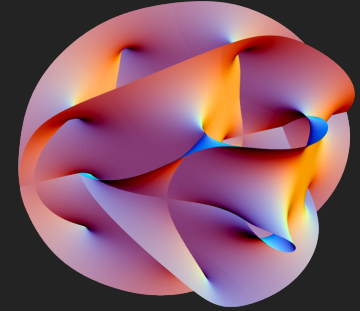
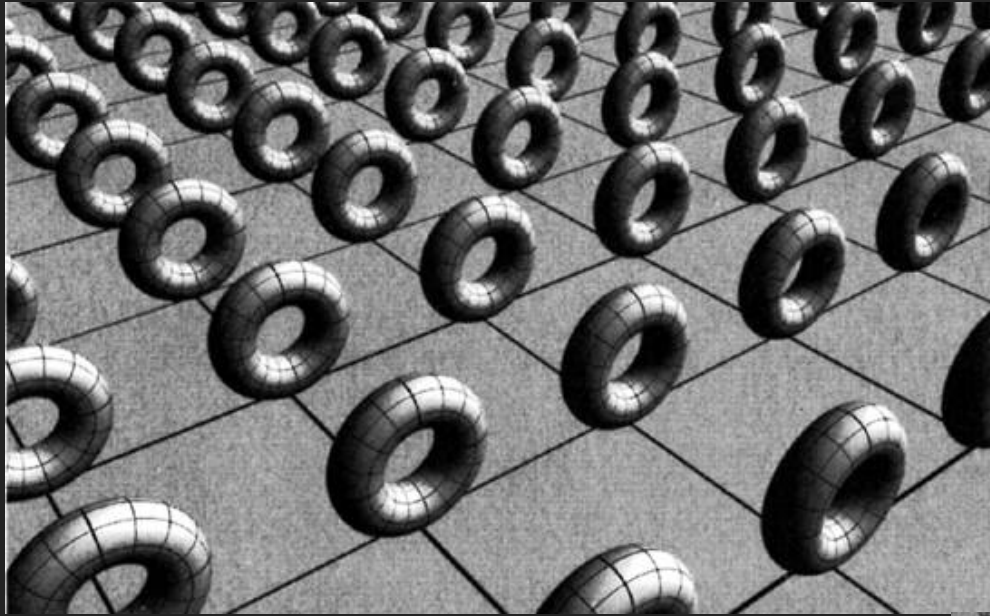
- Teoria strun odrzuca punktowość cząstek - **cząstki to wzbudzenia strun - obiektów rozciągniętych**
- Łączy **grawitację z resztą oddziaływań !!!!**
- Jedyne praktycznie kandydat na tzw Ogólną Teorię Wszystkiego
- Większość teorii strun jest **supersymetryczna** - ogranicza to liczbę wymiarów

Teoria strun cierpi na nadmiar wymiarów - spójne matematycznie teorie otrzymuje się w 26, 11 lub 10 wymiarach. Są też efektywne teorie w 4 wymiarach

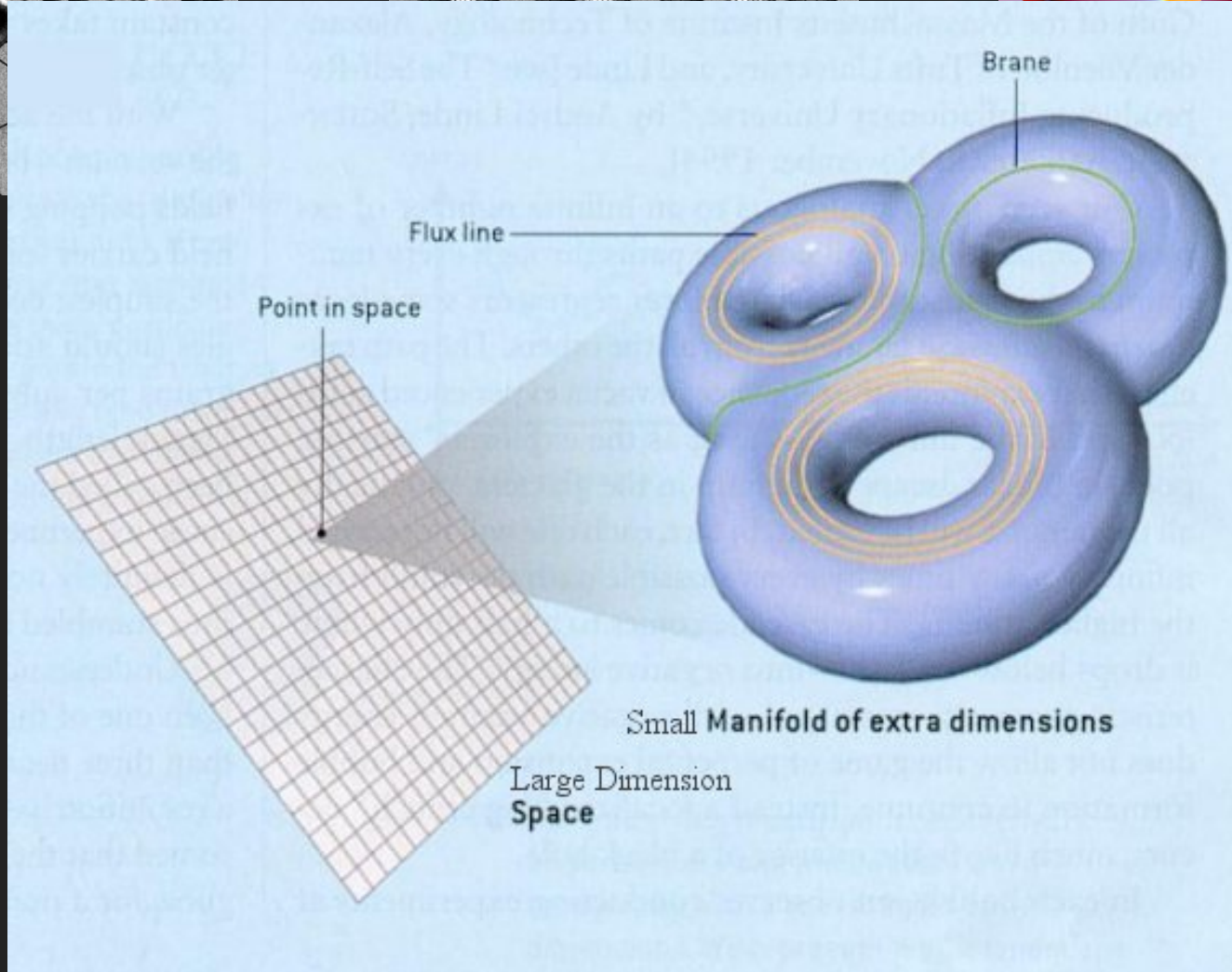
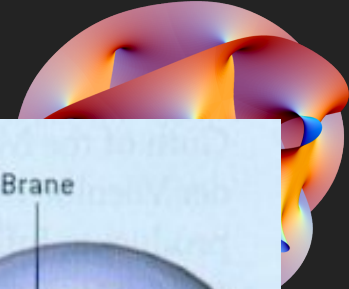
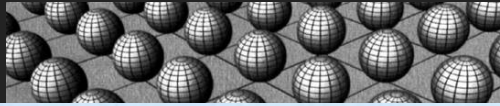
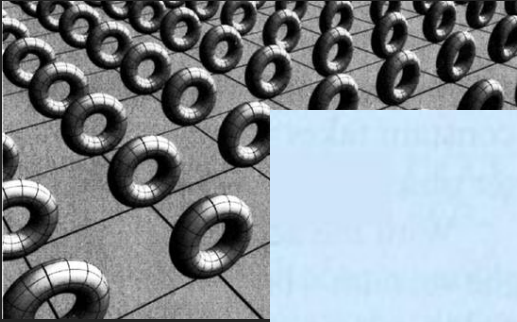
Można wyprowadzić z niej Model Standardowy ale nie ma praktycznej możliwości sprawdzenia doświadczalnego tej teorii - energie potrzebne są gigantyczne (masa Plancka)



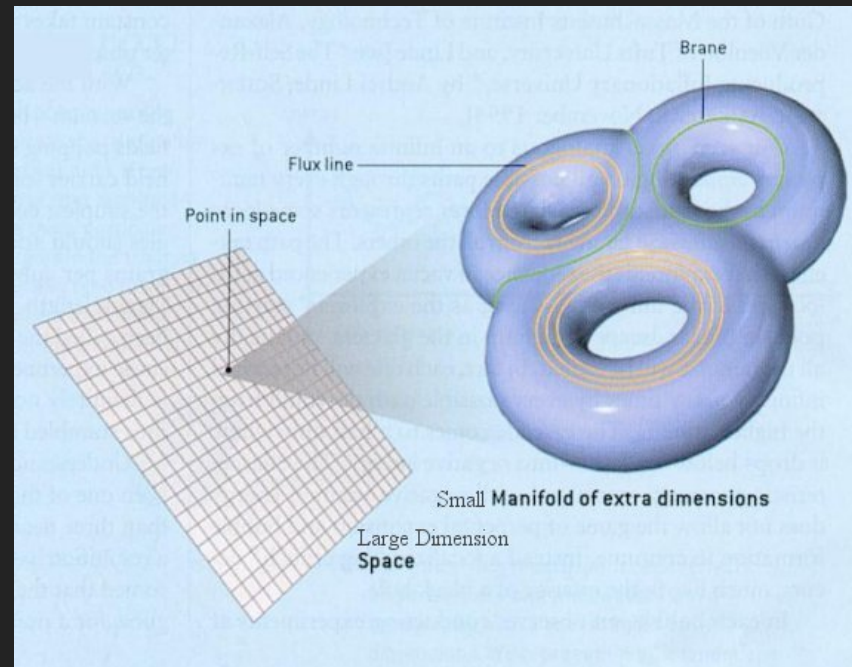
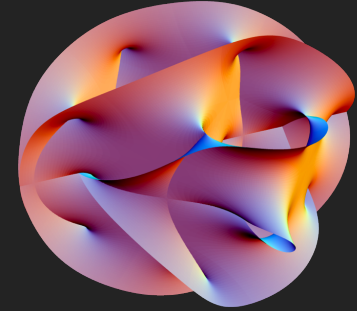
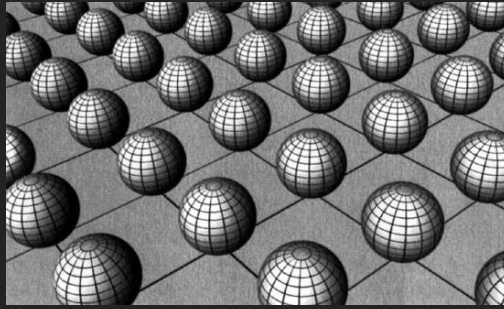
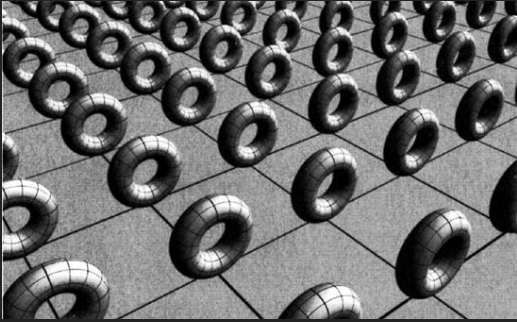
Spojrzenie na wielość wymiarów -
matematyczna struktura Calabi-Yau

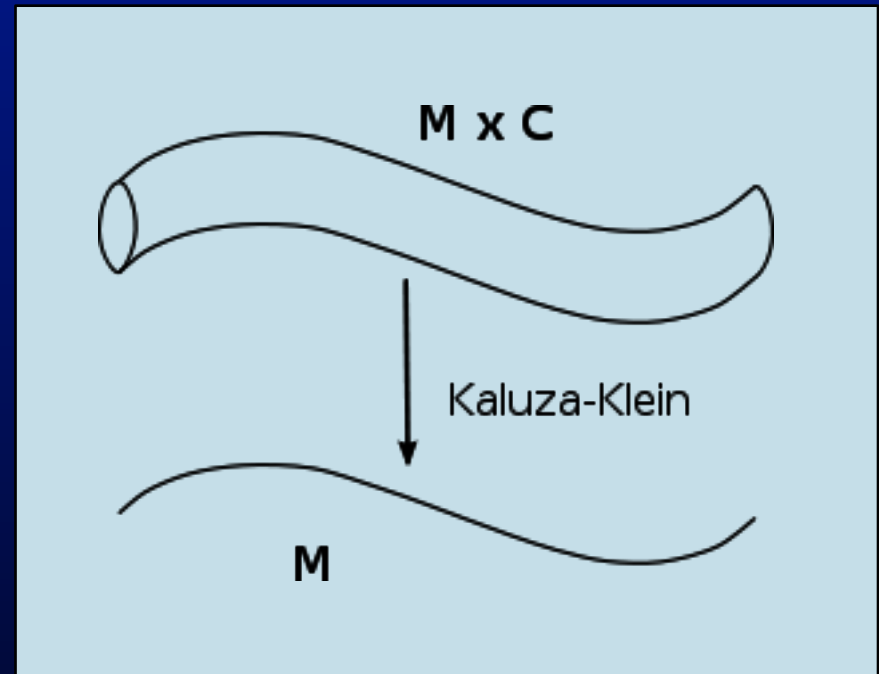


Teoria strun i extra wymiary



Teoria strun i extra wymiary

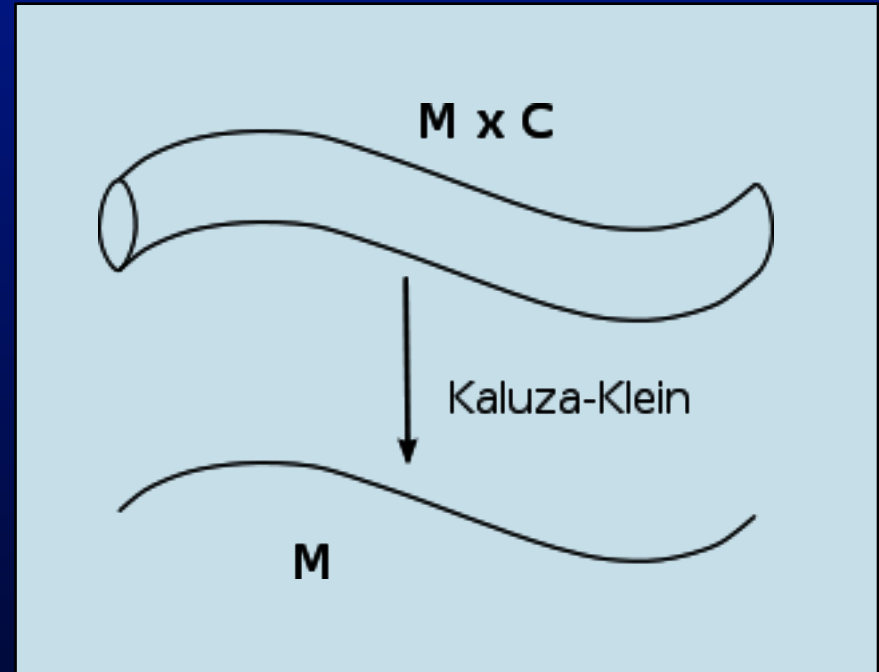
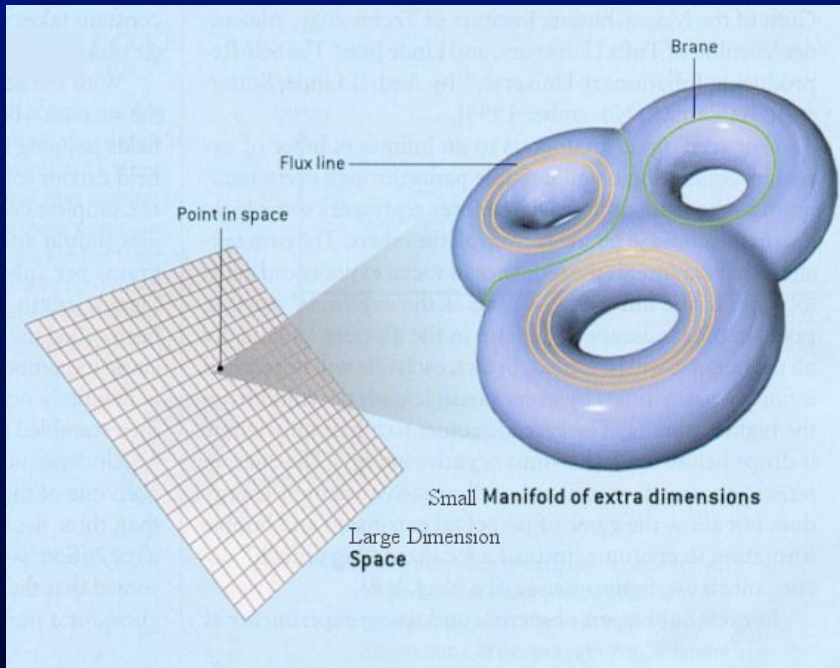




Jak w Mechanice Kwantowej: zamknięcie (albo kwantowanie w pudle) ma swoje konsekwencje w postaci skwantowanych poziomów energii interpretowanych jako wieża stanów masywnych Kaluzy-Kleina. Grawitony jako takie stany K-K byłyby wtedy bardzo ciężkie co wyjaśniałoby “słabość” kwantowej grawitacji.

Idea podobno do kwantowej fali de Broglie’a

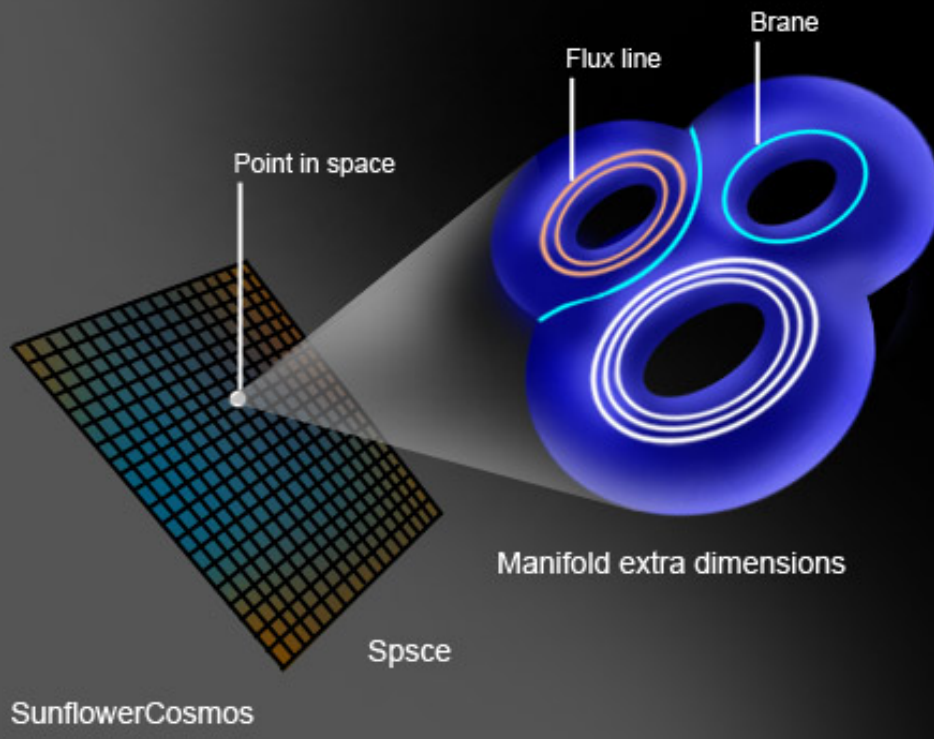
Wieża stanów Kaluzy-Kleina



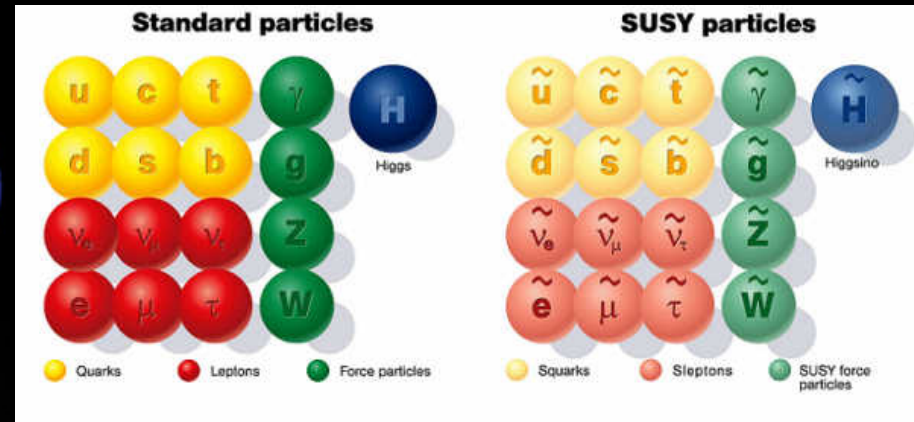
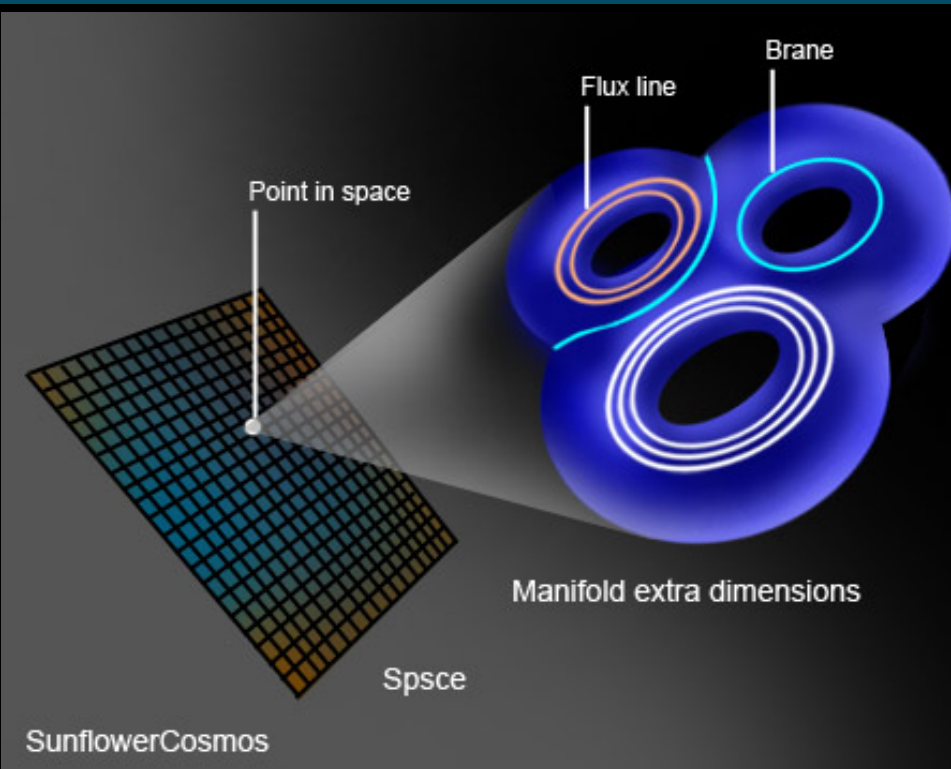
Jak w Mechanice Kwantowej: zamknięcie (albo kwantowanie w pudle) ma swoje konsekwencje w postaci skwantowanych poziomów energii interpretowanych jako wieża stanów masywnych Kaluzy-Kleina. Grawitony jako takie stany K-K byłyby wtedy bardzo ciężkie co wyjaśniałoby “słabość” kwantowej grawitacji.

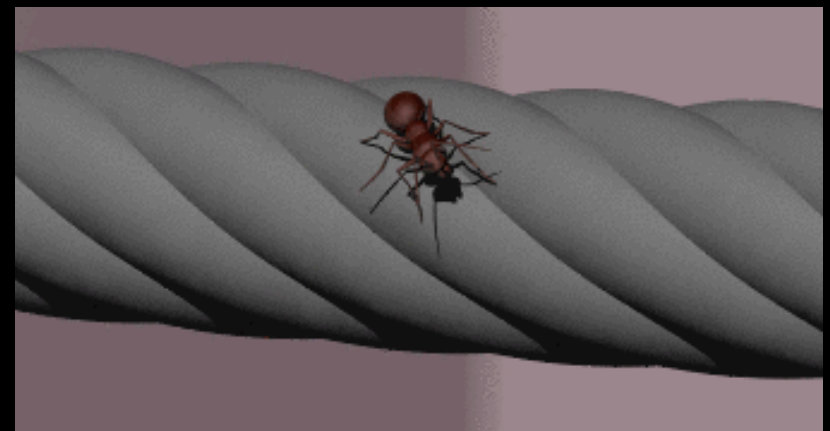
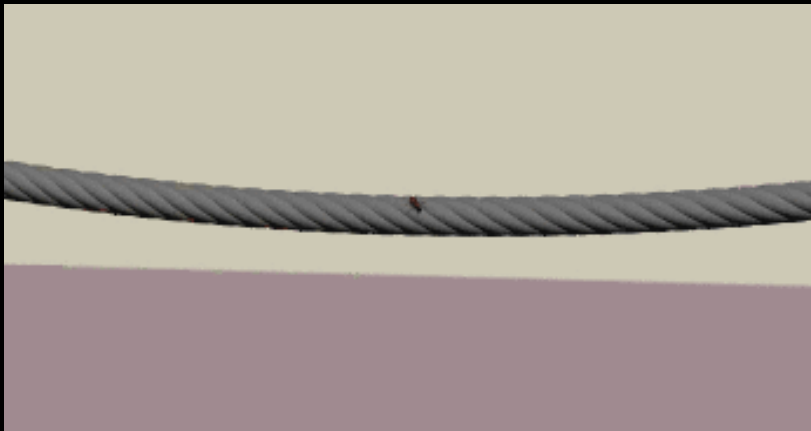
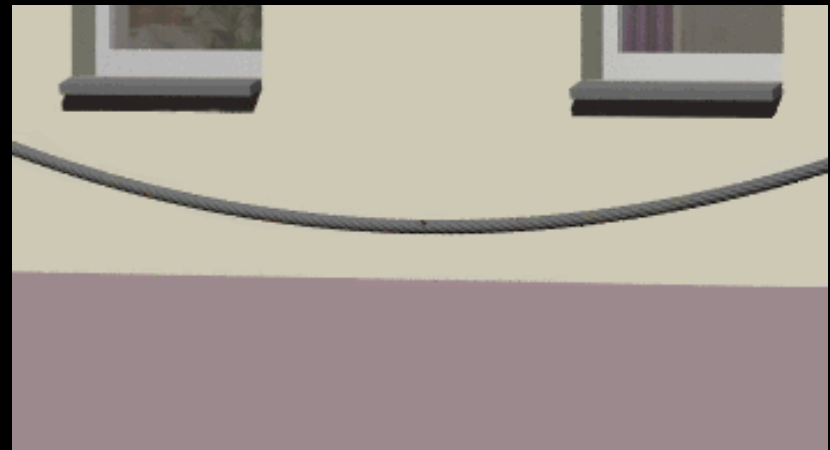
Idea podobno do kwantowej fali de Broglie’a

- Teoria strun odrzuca punktowość cząstek - cząstki to wzbudzenia strun - obiektów rozciągniętych
- Łączy grawitację z resztą oddziaływań !!!!
- Jedyne praktycznie kandydat na tzw Ogólną Teorię Wszystkiego
- Większość teorii strun jest supersymetryczna - ogranicza to liczbę wymiarów jako, że teoria strun cierpi na nadmiar wymiarów - spójne matematycznie teorie otrzymuje się w 26, 11 lub 10 wymiarach.



Supersymetria - symetria pomiędzy fermionami (materią) a bozonami (oddziaływaniami)
Rozwiązuje wiele problemów





Jak widać ile widzimy wymiarów jest delikatną sprawą

Model 5 wymiarowy: tworzy tzw “Bulk” w którym są dwie 4-dim “brany”:

1. brana skali Plancka - silna grawitacja
2. brana skali TeV - gdzie “żyją” nasze cząstki (SM) a grawitacja jest słaba

5-dim metryka:
$$ds^2 = \frac{1}{k^2 y^2} (dy^2 + \eta_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu)$$

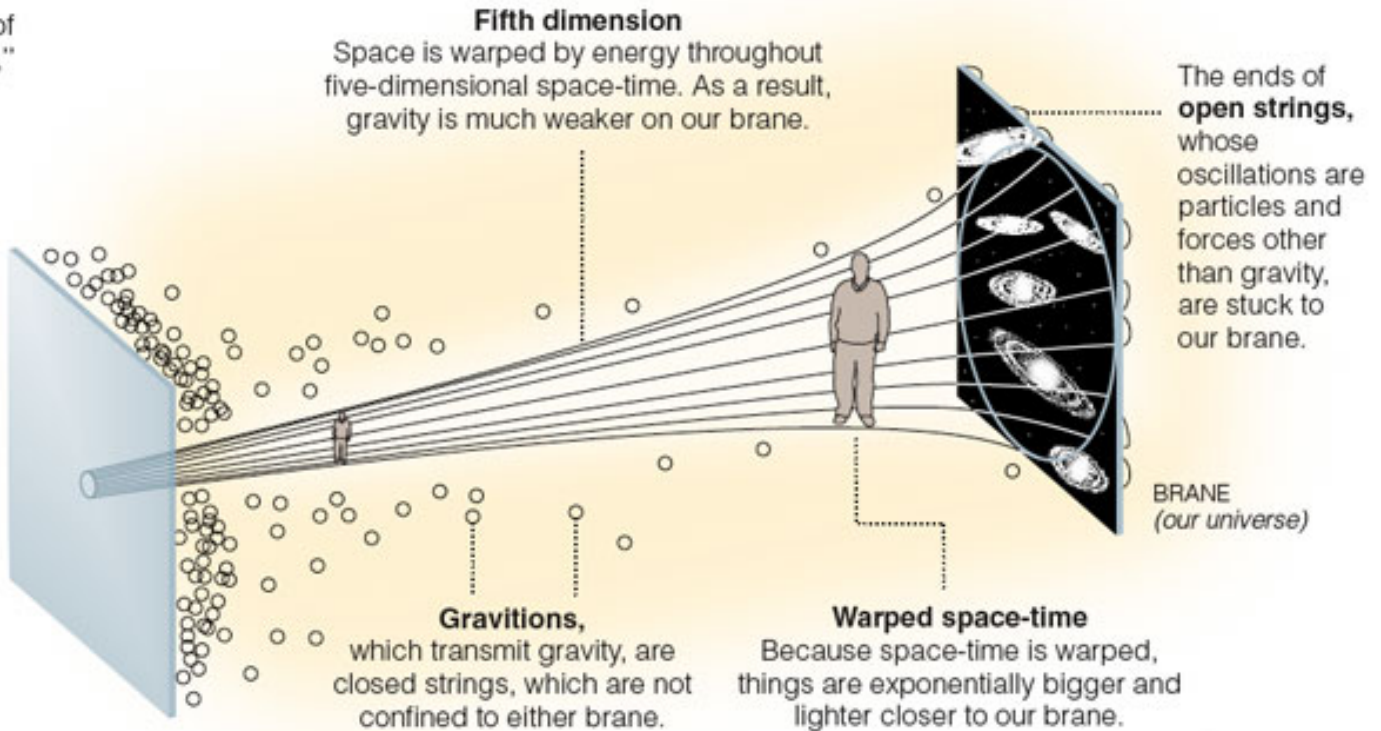
Funkcja falowa grawitonu jest skoncentrowana na branie Plancka a do nas dociera jej “ogon” - stąd słaba grawitacja na “naszej” branie.

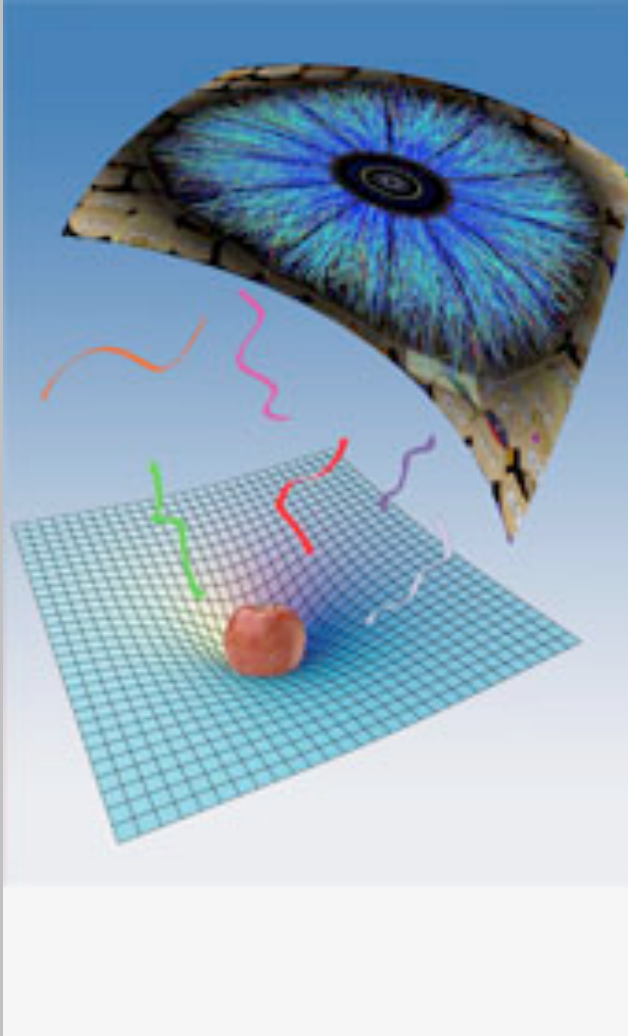
w modelu wbudowany jest tzw “warp factor” który ‘redukuje’ skalę Plancka do skali TeV dla “naszej” brany. Łatwo to zrobić biorąc np. Log.

Island Universes in Warped Space-Time

According to string theory, our universe might consist of a three-dimensional "brane," embedded in higher dimensions. In the model developed by Lisa Randall and Raman Sundrum, gravity is much weaker on our brane, separated from us by a fifth dimension. (Time is the unseen fourth dimension.)

GRAVITY BRANE
(where gravity is concentrated)





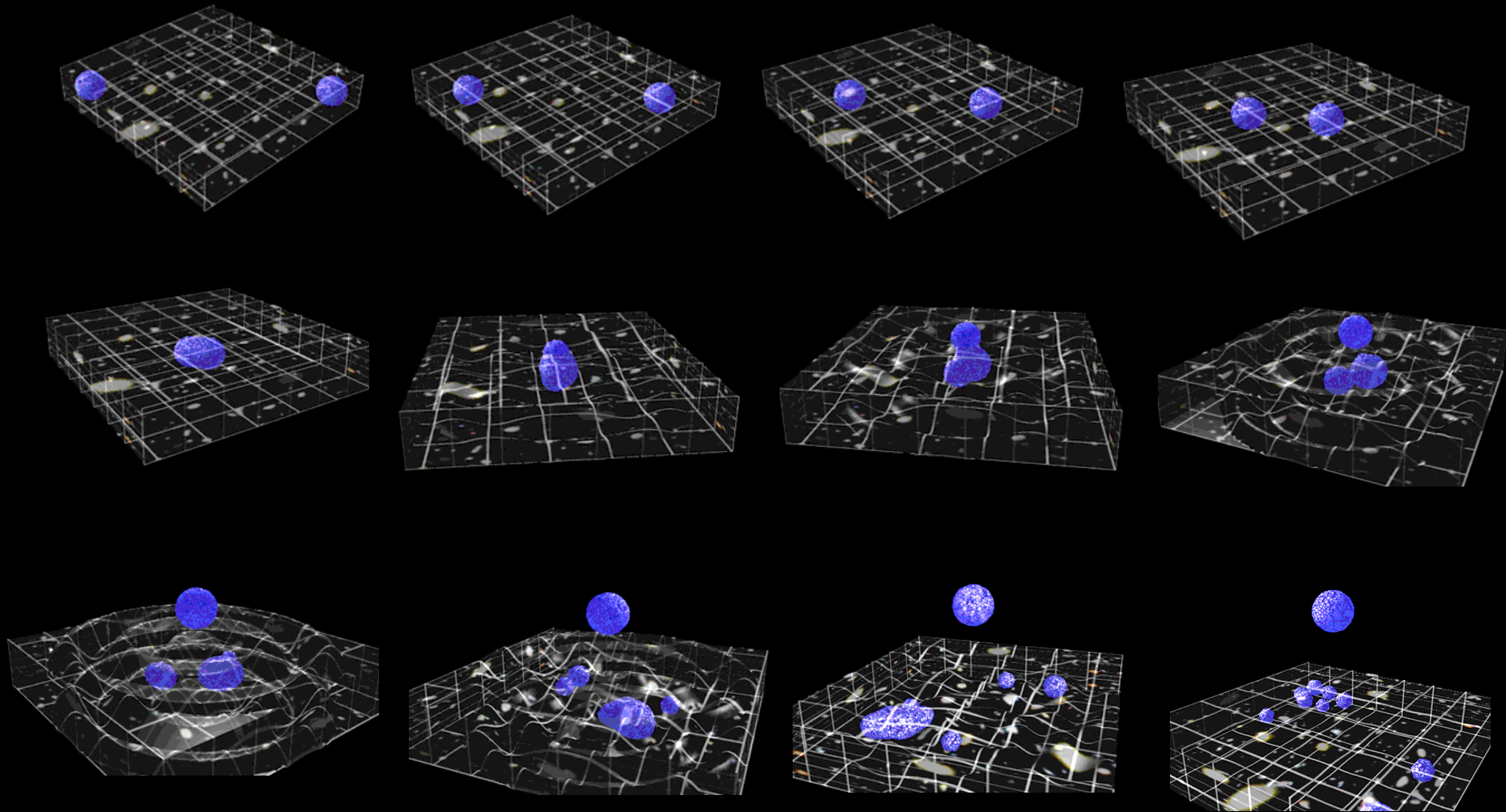
AdS_5/CFT_4 - odpowiedniość - dualność pomiędzy 5-dim grawitacją a konforemą teorią pola np. QCD (Hipoteza Maldaceny)

Rachunki AdS-u dają równania dla plazmy kwarkowo-gluonowej mierzonej w RHIC

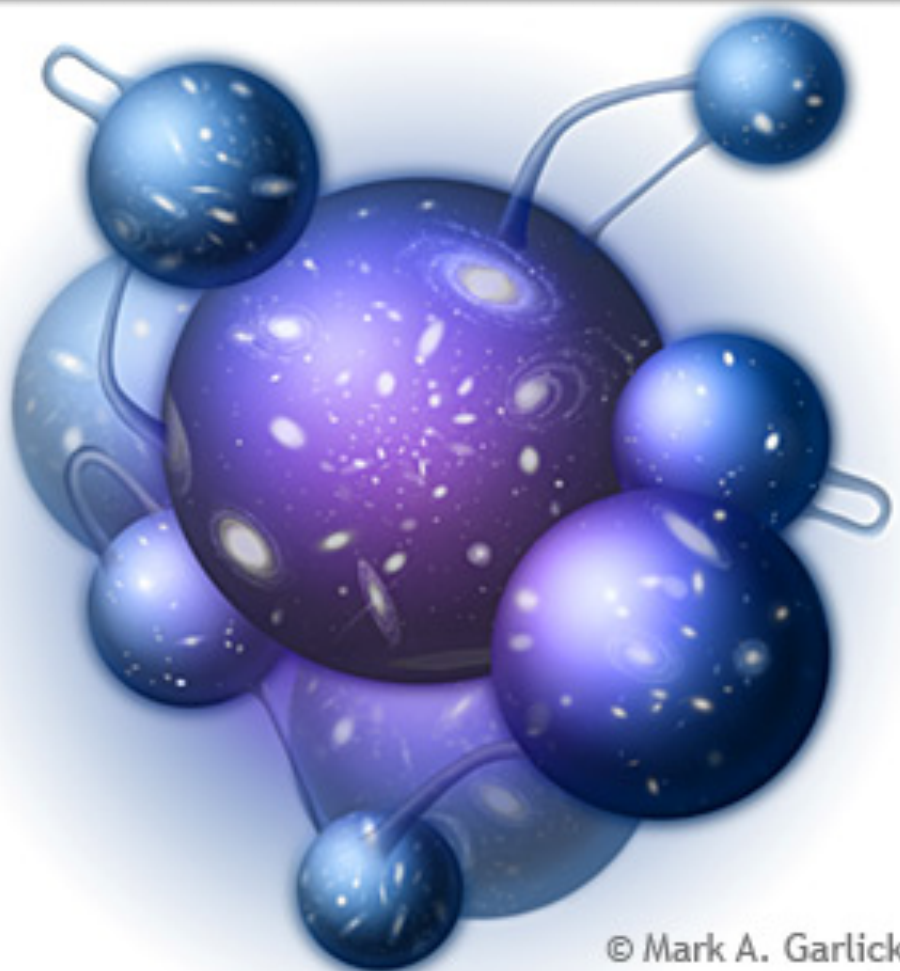
Przykład tzw holografii - z 4 do 5 wymiarów

model- dzięki dualności - daje przewidywania w obszarze dużej stałej sprzężenia QCD!

Dodatkowe skończone wymiary 3+1+n



A co jeśli jest nieskończenie wiele wszechświatów?



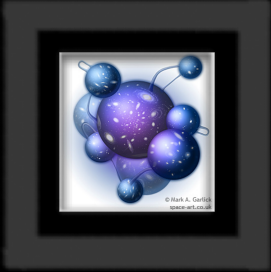
© Mark A. Garlick
space-art.co.uk

takie koncepcje
wynikają jako prosta
konsekwencja
mechaniki Kwantowej
(Everett III)

Zgodnie z MK obiekt może przebywać w stanie będącym mieszaniną wielu różnych stanów (kot Szrodingera- żywy i martwy)

Zewnętrzny bodziec (np pomiar) powoduje przejście w jeden z nich.

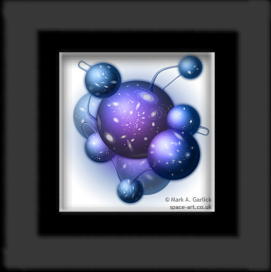
A jeżeli obiekt przechodzi we wszystkie stany tylko w każdy z nich w “oddzielnej gałęzi” wszechświata?



W obszarach poza horyzontem,
uważa się, że prawa fizyki są te same ale warunki
początkowe i rozkład materii są przypadkowe.

Wszechświaty takie mogą się rozkładać “wyspowo”
lub w sposób ciągły wypełniać przestrzeń,
po jakimś czasie informacja o nich może być widoczna

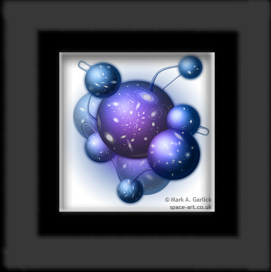
Każdy z takich wszechświatów || jest w zasadzie taki sam
jak nasz



Wynik nieustającej chaotycznej inflacji,
Przestrzeń ekspanduje ale niektóre obszary przestają się
rozszerzać , tworząc wyodrębnione bąble.
Każdy taki bąbel jest źródłem wszechświatów poziomu I

własności cząstek elementarnych, wymiary czasoprzestrzeni są
konsekwencją łamania symetrii

Nie oddziałują z naszym wszechświatem ale mogą wyjaśniać
zaskakujące korelacje



Mechanika Kwantowa przewiduje istnienie wielkiej liczby || wszechświatów położonych w abstrakcyjnym obszarze wszystkich możliwych stanów kwantowych

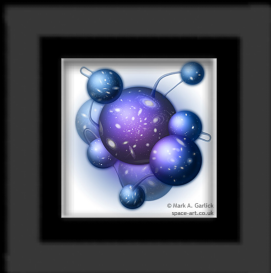
Dla obserwatora “wewnątrz” jest równoważny wszechświatowi poziomemu I

Podstawowe założenie to unitarny charakter ewolucji funkcji falowej

Związane z eksperymentami dekoherencji .

Parowanie czarnych dziur może niszczyć informacje, co podważa unitarność.

teoria strun sugeruje jednak, że nawet kwantowa grawitacja powinna być unitarna



Mechanika Kwantowa przewiduje istnienie wielkiej liczby || wszechświatów położonych w abstrakcyjnym obszarze wszystkich możliwych stanów kwantowych

Dla obserwatora “wewnątrz” jest równoważny wszechświatowi poziomemu I
Podstawowe założenie to unitarny charakter ewolucji funkcji falowej
Związane z eksperymentami dekoherencji .

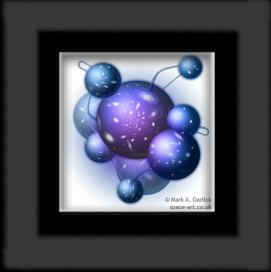
Parowanie czarnych dziur może niszczyć informacje, co podważa unitarność.

teoria strun sugeruje jednak, że nawet kwantowa grawitacja powinna być unitarna

Przykład: kostka do gry
rzut kostką - konkretna liczba oczek, ale MK przewiduje, że kostka odśłoni jednocześnie wszystkie oczka.



Jednym ze sposobów rozwikłania tej sprzeczności jest stwierdzenie, że różne liczby oczek wypadają w różnych wszechświatach



Istnieją poza czasem i przestrzenią, różnią się własnościami kosmologicznych stanów kwantowych i prawami fizyki.

Wszechświat to struktura matematyczna, abstrakcyjna i niezmienna. Determinuje prawa fizyki.

Wszystkie takie struktury są możliwe - pozwala uniknąć problemu asymetrii - dlaczego taka a nie inna struktura jest “realizowana”

Niewielka zmiana jednego z praw przyrody wywołałaby kataklizm, który zakłóciłby ewolucję wszechświata i nasze istnienie byłoby niemożliwe.
np. **Gdyby proton był o 2% cięższy cały pierwotny wodór zamieniłby się niemal natychmiast w neutrony i nie powstałyby żadne atomy**

Problem “precyzyjnego dostrojenia” stałych przyrody.

Wszechświat jest tylko jednym z wielu a znaleźliśmy się w nim dlatego, ponieważ właśnie tutaj skumulowały się warunki do powstania życia.
Jest to tzw “zasada antropiczna”

W przytłaczającej większości wszechświatów prawa fizyki nie zezwalają na powstanie skupisk materii czyli galaktyk, gwiazd i planet.

Wieloświaty - czy "nasz" wszechświat jest wyjątkowy?

Niewielka zmiana jednego z praw przyrody wywołałaby kataklizm, który zakłóciłby ewolucję wszechświata i nasze istnienie byłoby niemożliwe.
np. **Gdyby proton był o 2% cięższy cały pierwotny wodór zamieniłby się niemal natychmiast w neutrony i nie powstałyby żadne atomy**

Ale czy rzeczywiście tak jest?

Pro

Obserwowana gęstość ciemnej energii jest optymalna - na granicy pomiędzy szansą na powstanie wszechświata i na powstanie życia

Ws:
pon
Jes

W p...
na powstanie skupisk materii czyli galaktyk, gwiazd i planet.

Symulacje ewolucji wszechświata pokazują, że nawet **drastyczna zmiana parametrów dostrojenia** może prowadzić do powstania życia.

Przykład: wszechświat bez jednego rodzaju oddziaływań - od. słabych. Nie ma rozpadów beta - protony nie mogą się przekształcać się w neutrony w reakcji wychwytu elektronu - nie powstaje Hel-4 !

a gwiazdy i galaktyki świecą głównie dzięki syntezie Helu 4 z wodoru

ale
może powstać Hel-3 (z jader deuteru), wtedy gwiazdy świecą głównie dzięki syntezie Helu 3 z deuteru i wodoru. **Świecą słabiej ale świecą!**
Ziemia musiałaby krążyć bliżej “bezsłabego” słońca.

Wieloświaty - czy “nasz” wszechświat jest wyjątkowy?

Symulacje ewolucji wszechświata pokazują, że nawet **drastyczna zmiana parametrów dostrojenia** może prowadzić do powstania życia.

Przykład: wszechświat bez jednego rodzaju oddziaływań - od. słabych. Nie ma rozpadów beta - protony nie mogą się przekształcać się w neutrony w reakcji wychwytu elektronu - nie powstaje Hel-4 !

a gwiazdy i galaktyki świecą głównie dzięki syntezie Helu 4 z wodoru

ale
może powstać Hel-3 (z jader deuteru), wtedy gwiazdy świecą głównie dzięki syntezie Helu 3 z deuteru i wodoru. **Świecą słabiej ale świecą!**
Ziemia musiałaby krążyć bliżej “bezslabego” słońca.

Z drugiej strony - różnice mas cząstek w MS są niezrozumiałe bo świadczą o naruszeniu symetrii ale:

gdyby kwark dziwny miał tę samą masę co u i d to okazuje się, że nie ma stabilnych jąder weglo- i tleno- podobnych czyli życie jest niemożliwe!



Dziękuję za uwagę

