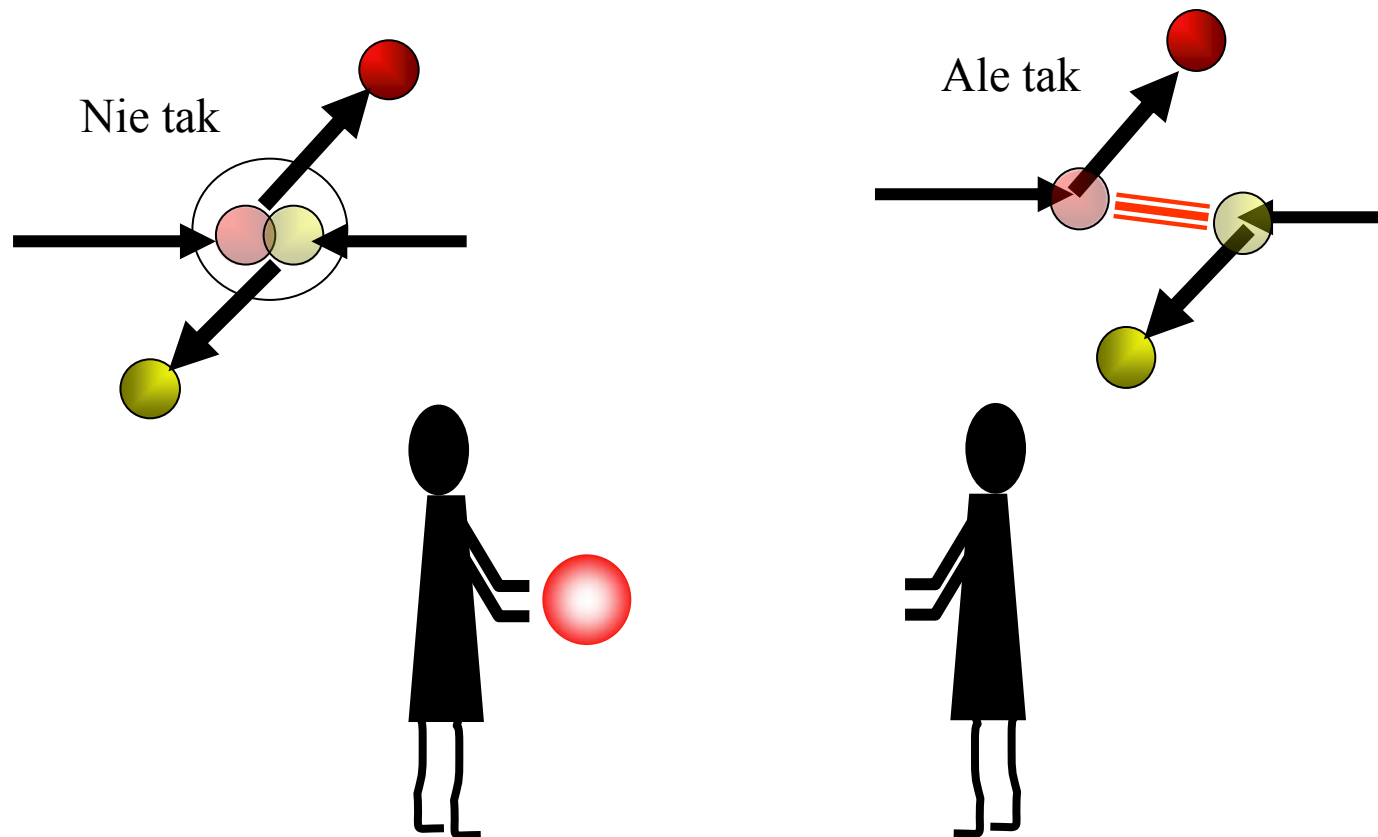


# NIEKTÓRE PROBLEMY CZĄSTEK ELEMENTARNYCH I KOSMOLOGII

W chwili obecnej mamy około **450** różnych (cząstek) uważanych jeszcze w latach 70 – za elementarne. W ramach wiedzy, którą obecnie dysponujemy obiektów elementarnych mamy zaledwie **24**.

Oddziaływania obiektów odbywają się przez pośredników nazywanych cząstkami pośredniczącymi.



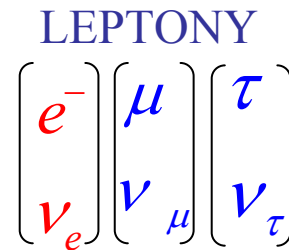
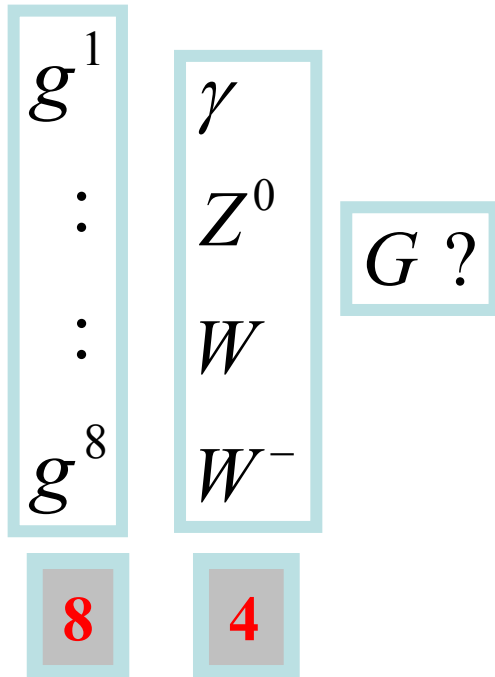
Zacznijmy od sił: W ramach Modelu Standardowego istnieją tylko cztery podstawowe siły

Siły	Lata 60/70	Obecnie	
Grawitacja	Tylko klasyczna	Bez zmian	
Elektr.	QED kwant. elektrodynamika	Teoria elektro- słabych	SM
Słabe	Brak		
Silne	Brak		

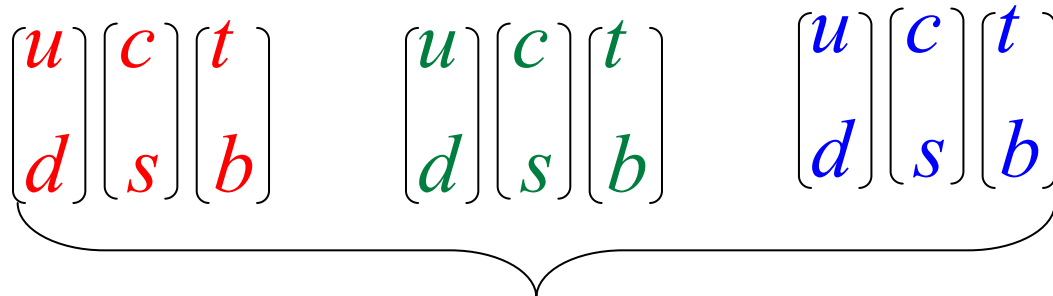
# Obiekty Elementarne zgodnie z Modelem Standardowym

**Kwanty  
przenoszące  
oddziaływania**

**Cząstki –  
składowe  
materii**



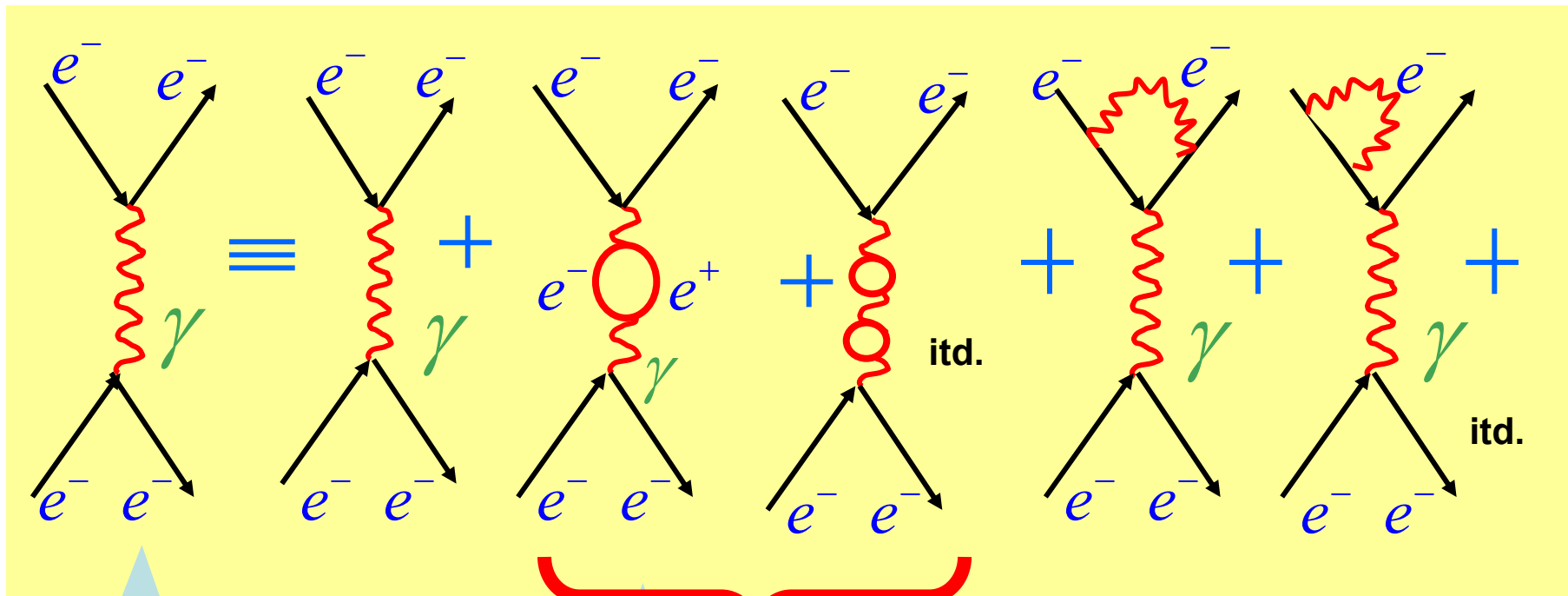
KWARKI



protony i neutrony są nie-elementarne

trzy ładunki kolorowe

# Problem poprawek radiacyjnych w EM - procesy wirtualne

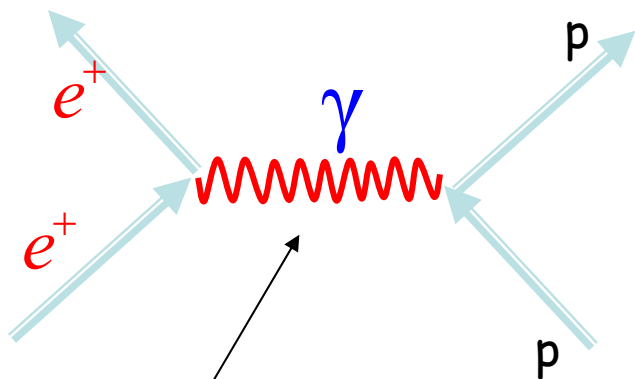


To symbolizuje np. **rzeczywiste** oddziaływanie elektronu z elektronem (elastyczne rozproszenie)

Poprawki do propagatora (tzw. pętlowe) **(ROZBIEŻNE)**

Tego typu poprawki **(szczęśliwie znoszą się!)**

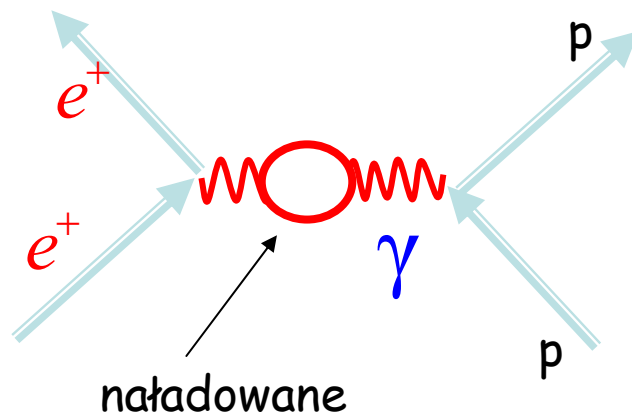
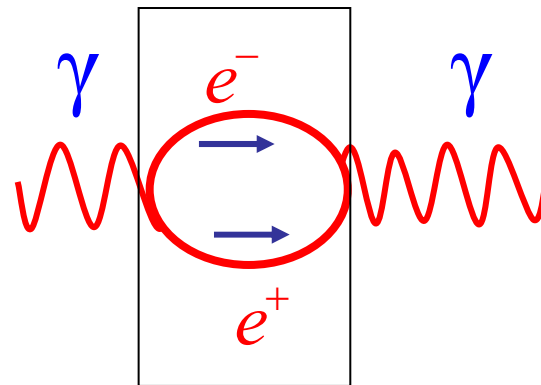
Co to są poprawki pętlowe ?



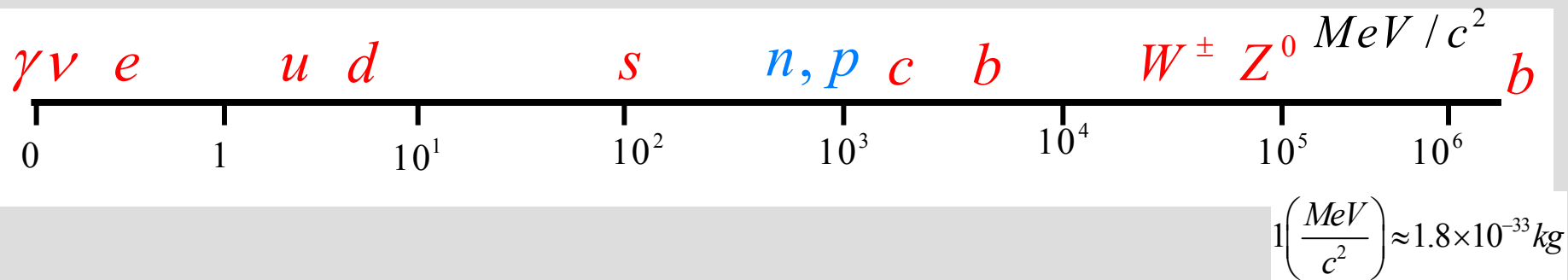
wirtualny foton  $m \neq 0$

$A \sim \sum$  po wszystkich naładowanych

lub jakiegokolwiek inne dwie naładowane cząstki



Model Standardowy jest oparty o równania, w których obserwowane cząstki elementarne mają masy zerowe. Rzeczywistość jest dramatycznie inna!



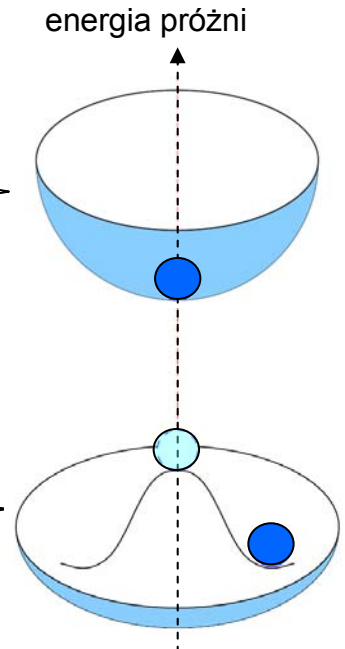
Ratunkiem jest pole cząstki zwanej Higgsem. Oddziałuje ono z cząstkami elementarnymi **nadając im masę**! Higgs został zaobserwowany właśnie w LHC w 2012 roku i potwierdzony w 2013.

Zasadniczy problem SM wydaje się być w chwili obecnej rozwiązany - ale czy do końca?

# Dodatkowe pole cząstki o spinie 1 dodane do Lagrangianu łamie spontanicznie symetrię EW oddziaływan i nadaje masę cząstkom !

punkt środkowy symetrii- odpowiada teorii z masami (kwarków, leptonów i bozonów) równymi zero

Klasyczny odpowiednik spontanicznego łamania - symetria złamana



$$\mathcal{L} \rightarrow \mathcal{L} + \underbrace{\begin{pmatrix} \varphi_\alpha \\ \varphi_\beta \end{pmatrix}}_{\text{pole skalarne } s=0}$$

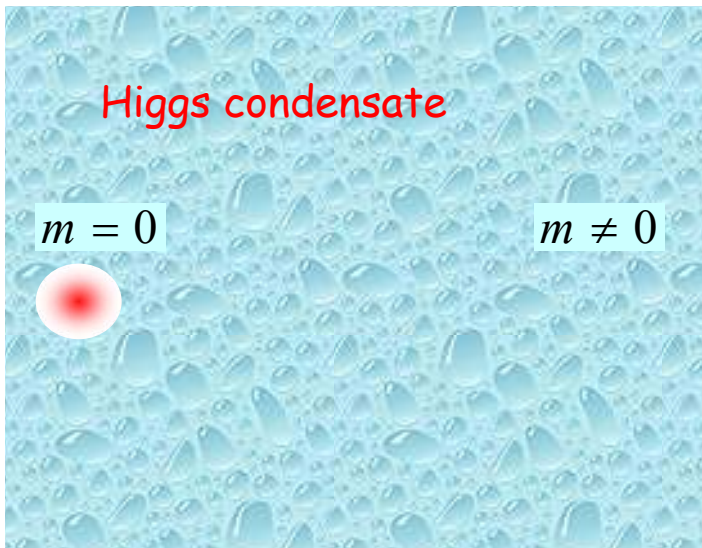
po złamaniu symetrii

$$\begin{pmatrix} 0 \\ \mathbf{v+h} \end{pmatrix}$$

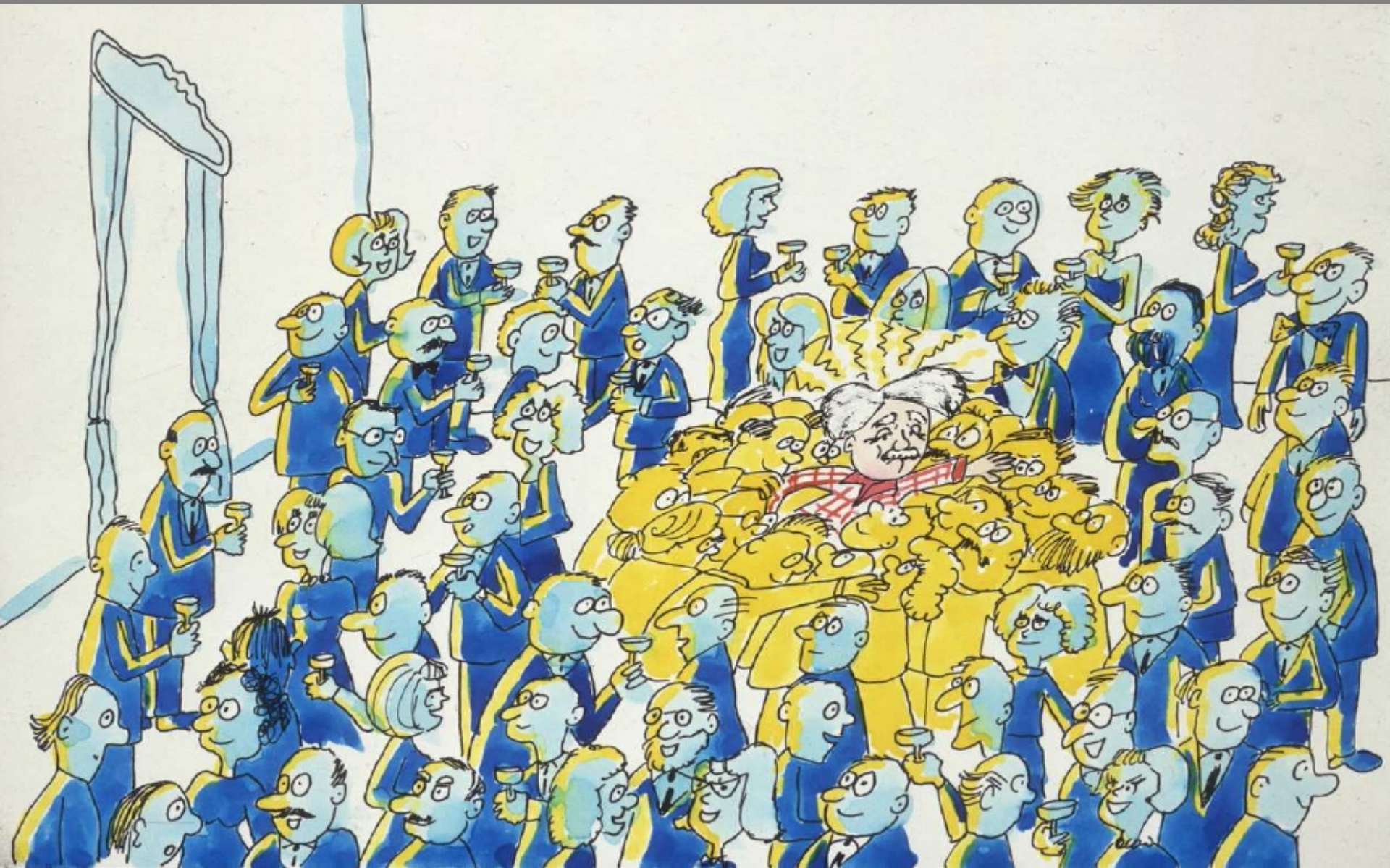
*h-pole skalarne*

SM nie zawiera cząstek o spinie zero. Występują cząstki o spinie 1 i fermiony o spinie 2

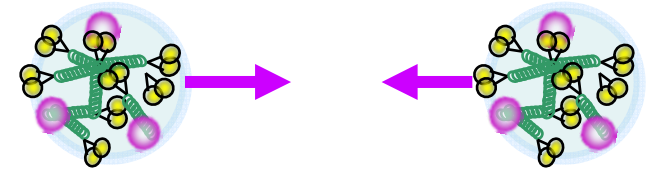
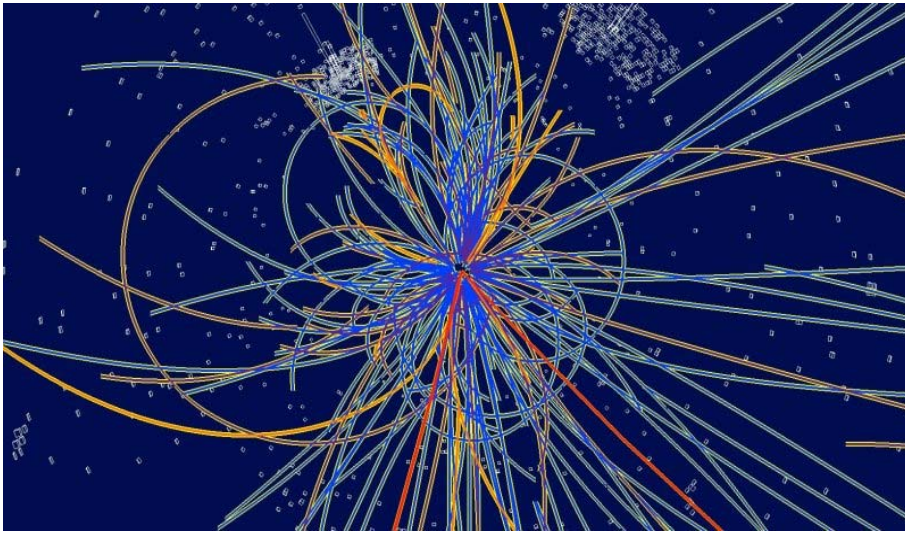
Wzbudzenie pola - jedno pole Higgsa (tzw. Higgs standardowy).







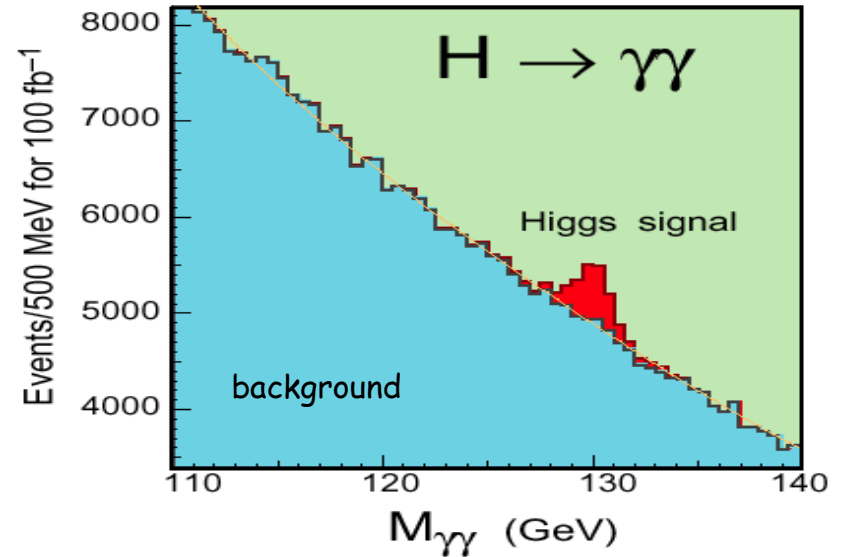
# Higgs production and decay at LHC

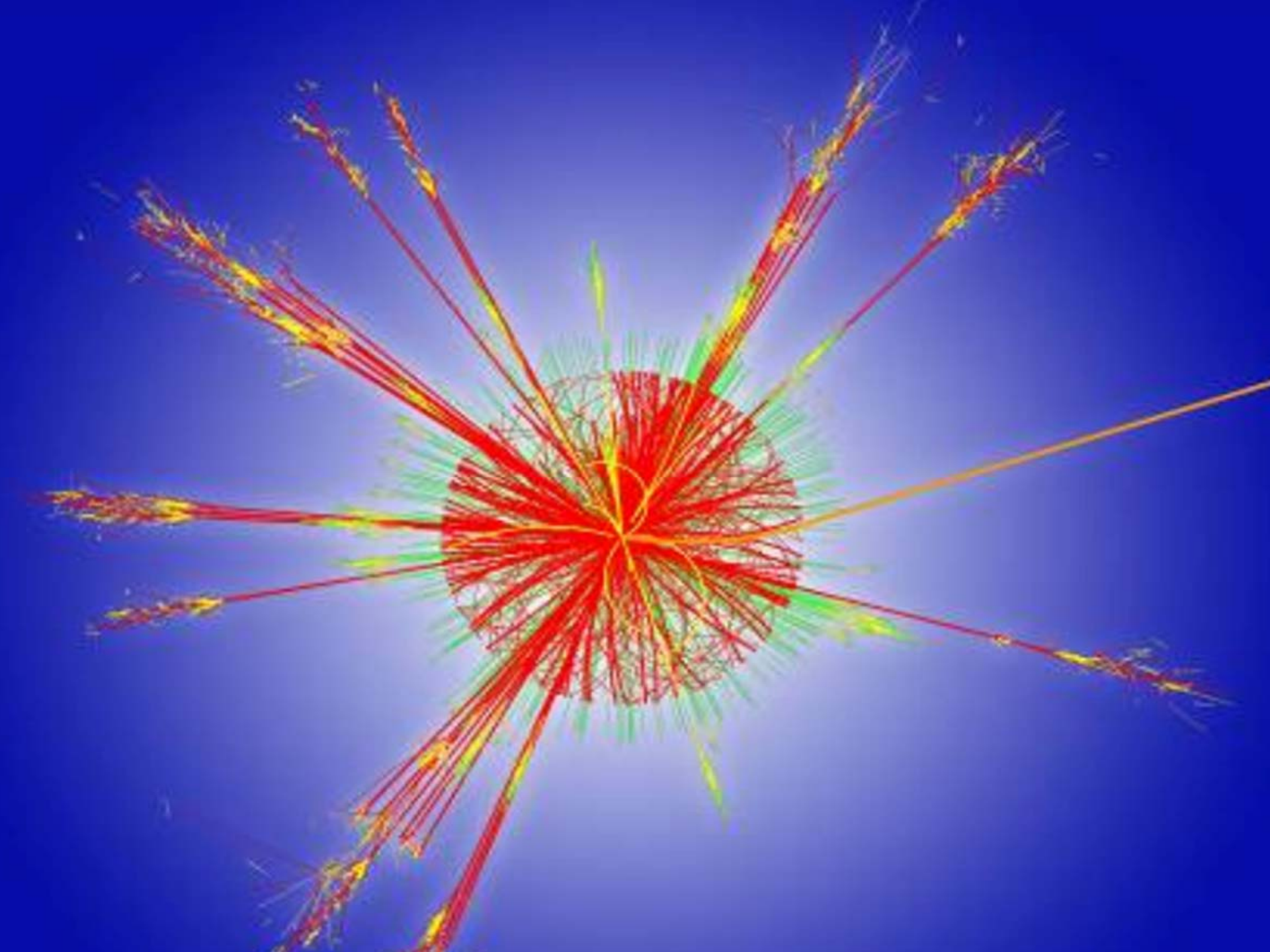


Tak wygląda zderzenie z którego należy wyodrębnić interesujący nas przypadek

## "counting" (statystyczny) eksperyment

Porównuje się dane z przewidywaniami MCARLO opartymi na dotychczas znanej "fizyce".



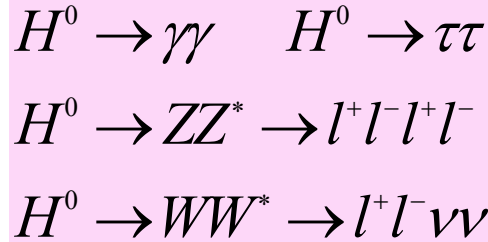


## Cząstkę H rozpoznajemy po jej rozpadzie

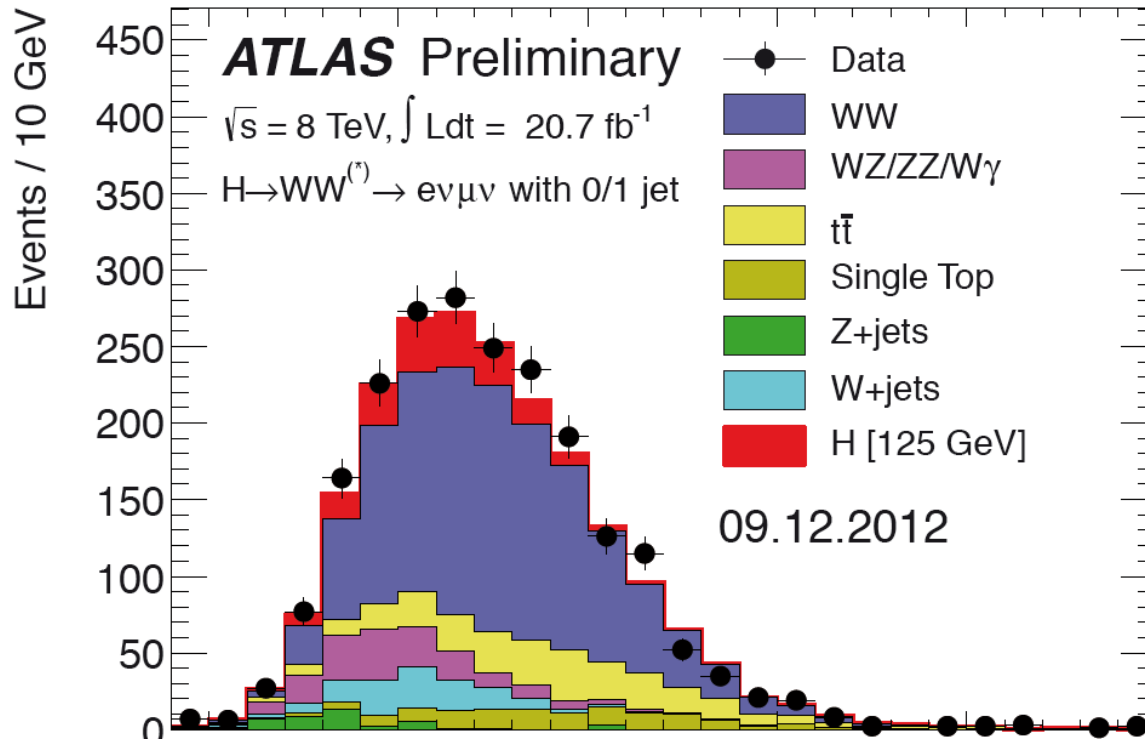
Prawdopodobieństwo, danego rozpadu zależy od mas  $m_f$  cząstek na które się H rozpada

$$P \approx 1/m_f^2$$

Najbardziej oczekiwane rozpady i w takich rozpadach znaleziono sygnał w 2012 r. (CMS&ATLAS)



gdzie  $l = \text{lepton } e^\pm, \mu^\pm$



Potwierdzono zaobserwowanie nowej cząstki o masie

$$126 \pm 0.4(\text{stat}) \pm 0.5(\text{syst}) \text{ GeV}/c^2$$

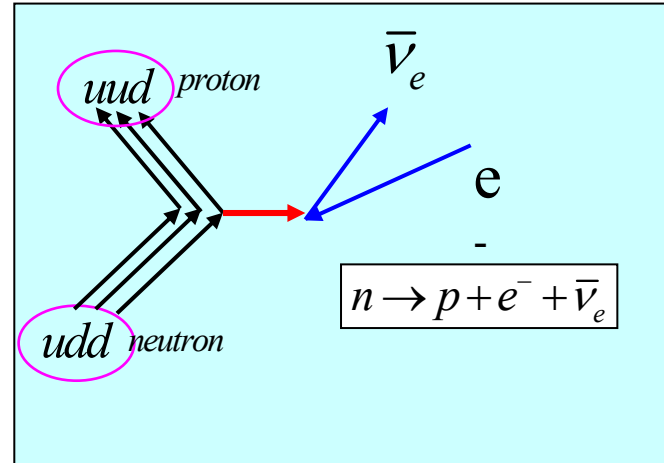
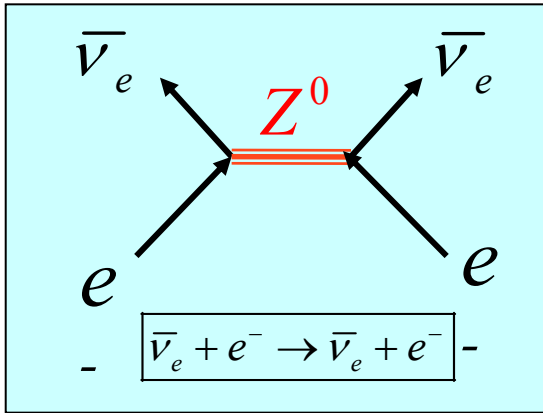
Prawdop. ewentualnej fluktuacji tła, jest mniejsze niż  $1,7 \times 10^{-9}$ .

Badanie rozkładów kątowych wskazuje na spin zero.

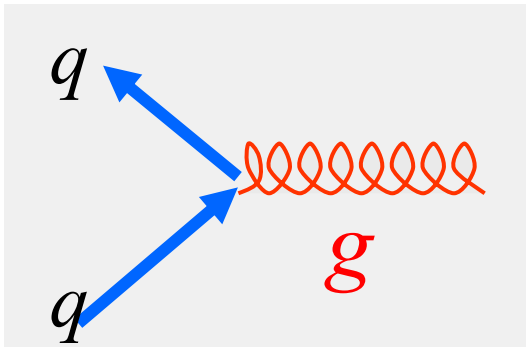
**Czy to jest TEN Higgs ?? A może któryś z H neutralnych związanych z inną teorią ???**

# Wszystko wygląda bardzo optymistycznie dla Standardowego Modelu SM -

1. Elektromagnetyczne EM wyjaśnione
2. Słabe (pamiętajmy np. rozpad protonu lub neutronu w jądrze) wyjaśnione - razem z EM tworzą tzw. oddziaływania elektroślabe EW - teoria jest renormalizowalna



kwarki są kolorowe RGB - cząstki białe. Mezony (spin całkowity) składają się  $(q\bar{q})$  zaś bariony (spin półkowy) z  $(qqq)$



Wierzchołek podstawowy: gluon "sprzęga" się do kwarków.

Zgodnie z tym możliwa jest emisja gluonu przez kwark albo tworzenie przez gluon par kwark-antykwar

# Co mamy do zarzucenia SM ? **PIERWSZY ARGUMENT ZA INNĄ TEORIĄ**

**Po pierwsze** - tak naprawdę unifikuje tylko EM i S(łabe). Wspólne bozony pośredniczące np.  $Z^0$  Silne oddziaływania (SU(3)) stoją na uboczu i byłoby jeszcze lepiej gdyby miały wspólną symetrię z elektrosłabymi.

**Po drugie** - Nie ma przejść pomiędzy kwarkami i leptonami

**Po trzecie** - jeśli przyjąć stałe sprzężenia dla EM i S za  $g_1, g_2$  to ich stosunek wyznacza się z eksperymentu i nie ma żadnego związku między nimi.

**Po czwarte** - Silne oddziaływania SU(3) stoją na uboczu i byłoby jeszcze lepiej gdyby miały wspólną symetrię z elektrosłabymi.


**Po piąte** - nie zawiera w sobie oddz. grawitacyjnych. Kwantowe efekty grawitacyjne wymagają dramatycznej skali masy (energii) ! tzw. masa Plancka  $10^{16} \text{ GeV}$

**Po szóste** - co to za teoria, w której wszystkie parametry trzeba "ręcznie" włożyć do modelu ???

**Po siódme** - Wszystkie masy w SM (kwarki, leptony, bozony poś.) muszą być równe zero. Tymczasem nie dość, że nie są, to rozrzut mas jest dramatyczny ( od 1 eV do 200 prawie mas protonów, 170 GeV).

Łamanie symetrii ze względu na masy da się uratować poprzez istnienie tzw. **Cząstki Higgsa** , Ale wprowadzenie tego obiektu o spinie zero (DLACZEGO go nie ma naturalnie?) jest sztuczne.

Do tego należy dodać podstawowe argumenty natury kosmologicznej, którymi są:



Widzimy tylko materię – brak antymaterii

Skąd ta nierównowaga ? W momencie Wielkiego Wybuchu była z gruba pół-na-pół. Możliwe gdy silne łamanie CP i niezachowanie liczby barionowej (rozpad p)

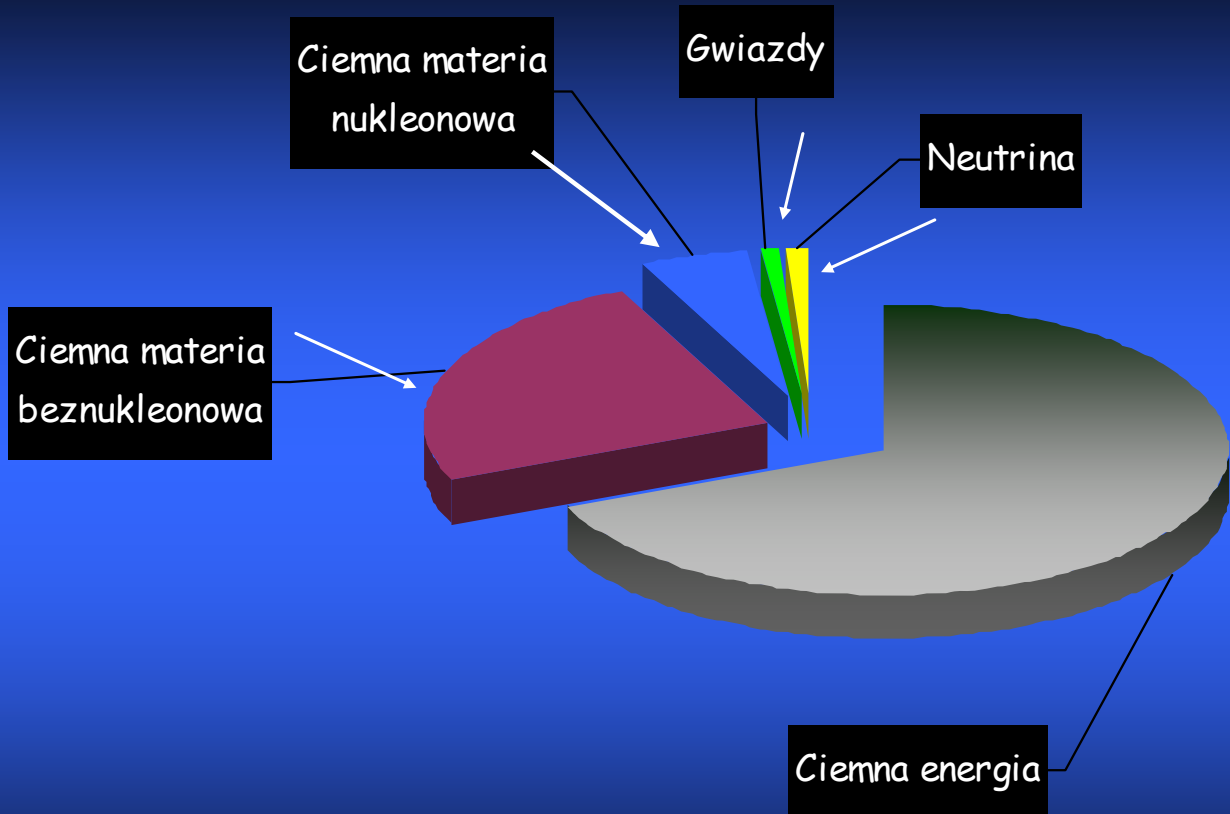
$$\tau_{\text{protonu}} > 10^{33} \text{ lat}$$

W 25% mamy do czynienia z tzw. Czarną Materią, która nie oddział. ze znaną nam dotychczas. Czym ona jest ??

Rosnąca ekspansja Wszechświata – wierzy się, że napędza ją Czarna Energia (70%). Stosunkowo prostym wyjaśnieniem były by pola "higgso-podobne". Znalezienie H wzmacnia ten rodzaj hipotezy!

Jak wyjaśnić strukturę i pochodzenie Czarnych Dziur ?

<1%



Ciemna materia nukleonowa

Gwiazdy

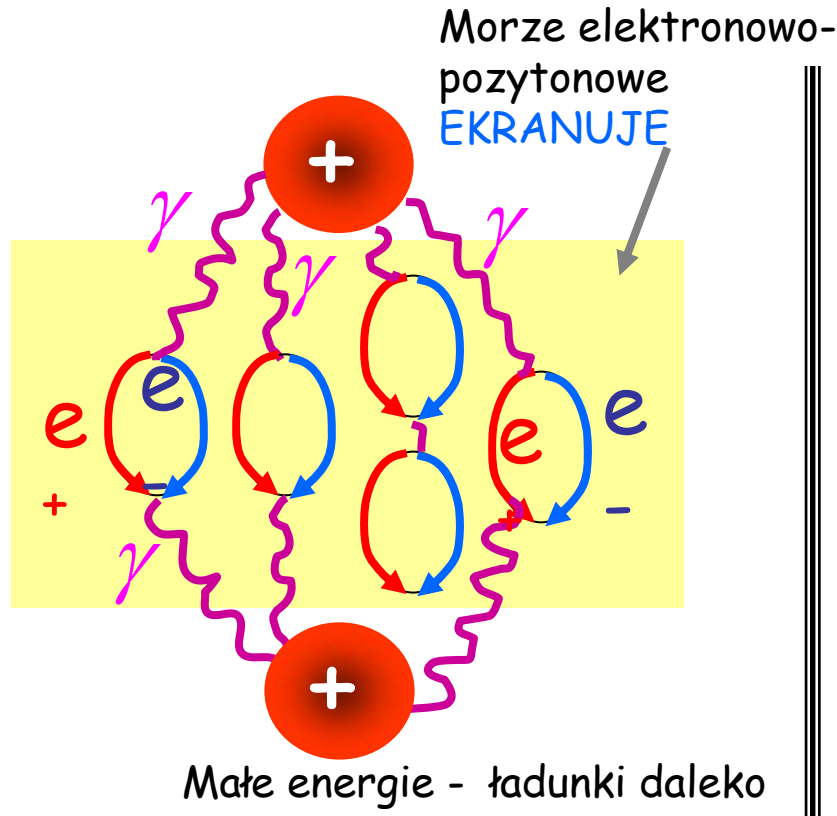
Neutrino

Ciemna materia beznukleonowa

Ciemna energia

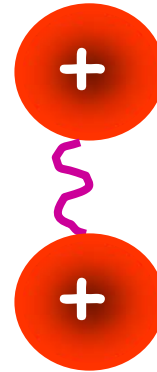


Jak zostało wspomniane w okolicach dużej skali energii następuje unifikacja EM&S&SIL. Dlaczego? Dzięki polaryzacji próżni - EM



"Morze" takie ekranuje ładunki i oddziaływanie ładunków **słabsze** niż jeśli są "blisko" (większe energie)

$$q \geq \frac{\hbar}{x}$$



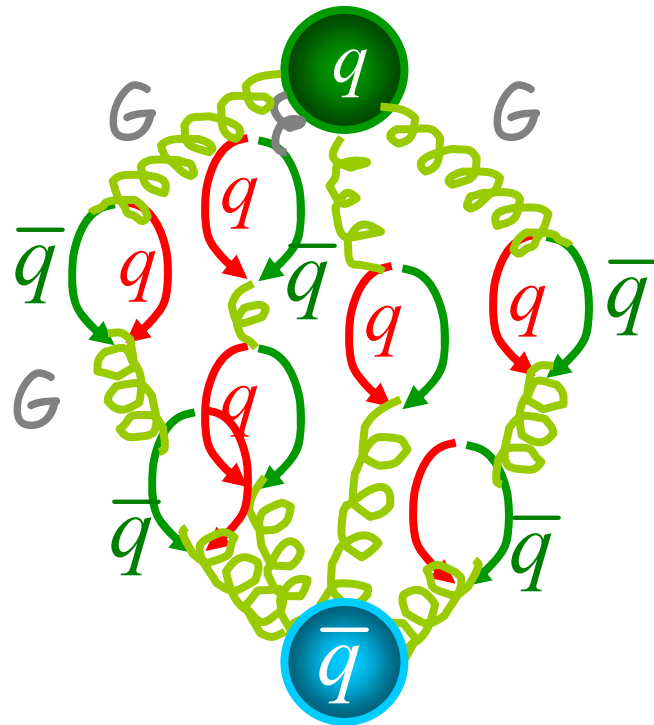
Bardzo duże energie (masy) - ładunki zbliżamy ("morze" znika) - siły są nieskończone - mówimy, że oddz. dwóch nieubranych (w morze) ład. jest  $\infty$



Duże energie-silniejsze oddziaływanie brak ekranowania morza (stała sprzężenia EM rośnie)

Ta  $\infty$  musi się odjąć - jest to tzw. NORMALIZACJA

# Polaryzacja próżni dla oddziaływań silnych,



Małe energie

Ponieważ oddziaływanie

$$q - \bar{q}, q - q, \bar{q} - \bar{q}$$

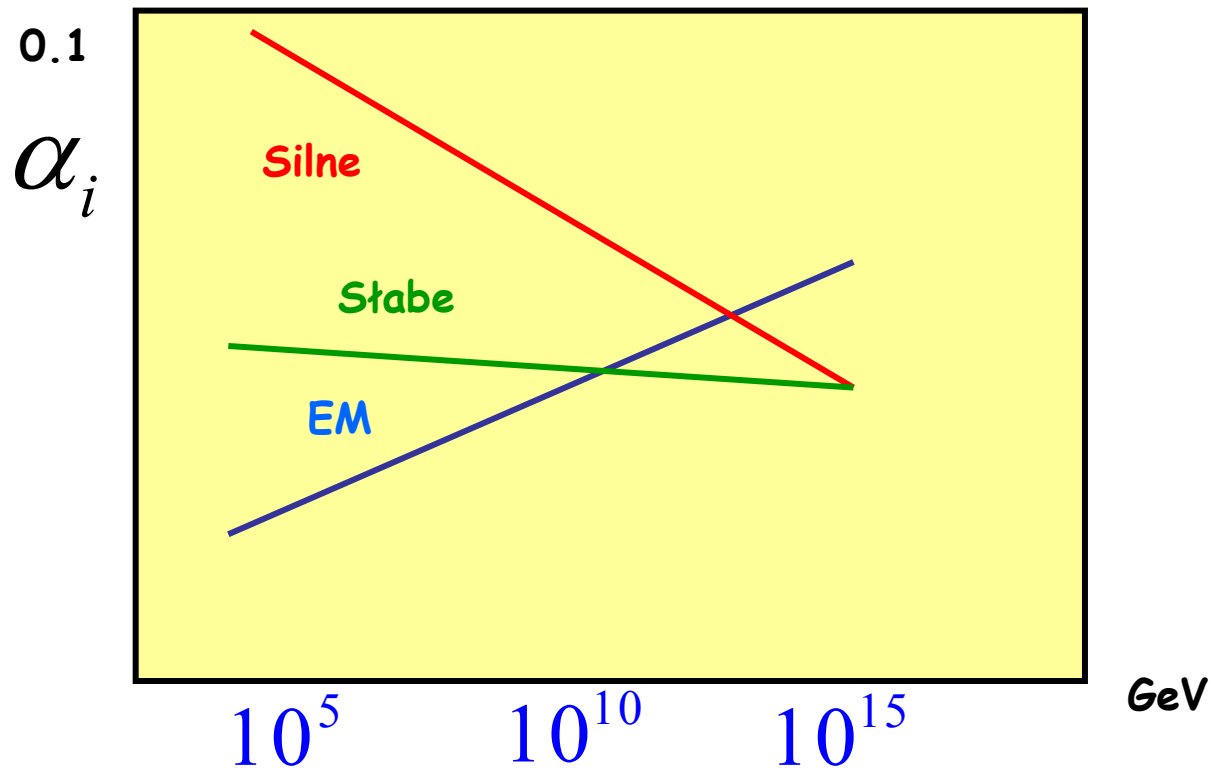
jest takie same to proces przebiega  
przeciwnie - oddziaływanie jest silniejsze  
dla większych odległości (małe energie)  
niż dla mniejszych (większe energie).



Wyższe energie

Ze wzrostem energii stała sprzężenia silnego maleje !

Ale zależność jest słabo zadowalająca ! DRUGI ARGUMENT ZA INNĄ TEORIĄ



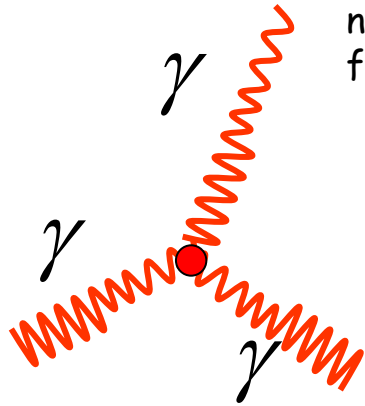
Krzywe NIE przecinają się w jednym punkcie ! Czy zresztą powinny ?? Ale jakby tak, to byłoby to zgodne z poglądem na Wielki Wybuch !

Czy dałby się doprowadzić do sytuacji w której wszystkie krzywe przecięłyby się w jednym punkcie ??

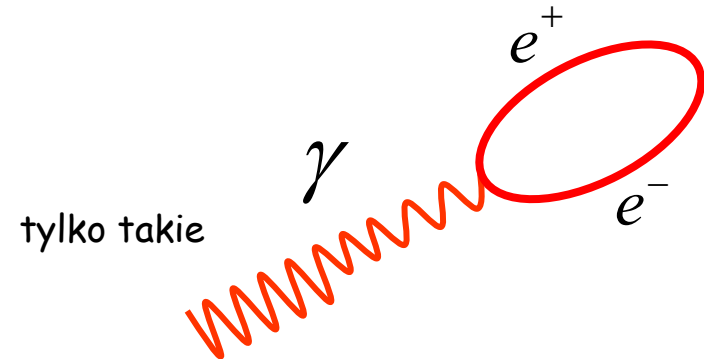
## A co z Grawitacją ??

## TRZECI ARGUMENT ZA INNĄ TEORIA

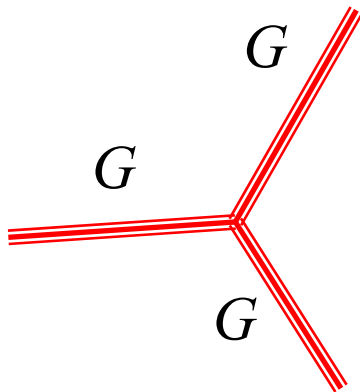
Wróćmy na chwilę do EM - nośniki oddz. fotony przekazują siły pomiędzy naładowanymi ale **same nie są naładowane**. Nie mogą oddz. w sposób



nie może być "morza" czysto fotonowego

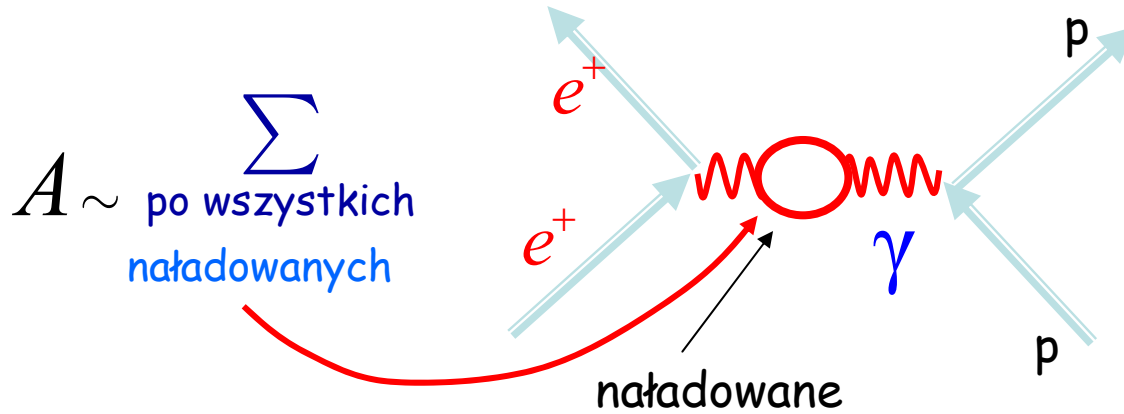


Grawitony są nośnikami oddz. mas (energii) - same niosą energię więc możliwe jest oddz. między nimi.

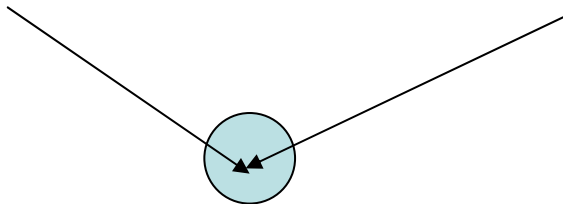


Ale ten typ oddziaływania prowadzi do  $\infty$ ,  
których w żaden sposób usunąć NIE MOŻNA.  
Kwantowa Teoria Grawitacji jest  
**nienormalizowalna**

Przypomnijmy sobie poprawki "pętlowe":



W klasycznych teoriach oddziaływanie pomiędzy dwoma obiektami zachodzi **punktowo**



$$\Delta p \Delta x \geq \hbar$$

Jeśli mówimy o oddz. w punkcie to

$$\Delta x \approx 0 \quad \Delta p = \frac{\hbar}{\Delta x} \rightarrow \infty$$

A więc wszystkie procesy zależące o pędu musimy wycałkować po pędzie od 0 do  $\infty$

Jeśli mamy wewnętrzne (wirtualne) pętle to z mechaniki kwantowej wiadomo, że taka całka

$$A \propto \int_0^{\infty} p^{4J-8} d^{\dim} p \quad J = \text{spin} \quad \dim = \text{wymiar przestrzeni}$$

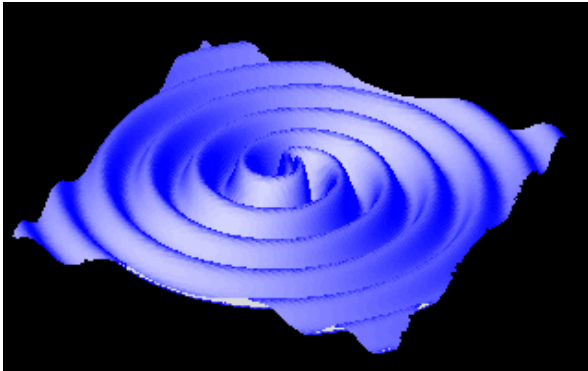
Chodzi o to, że jest ona zbieżna gdy  $4J - 8 \leq \dim$

Zdefiniujmy zmienną gdy  $\Lambda = 4J + \dim - 8$

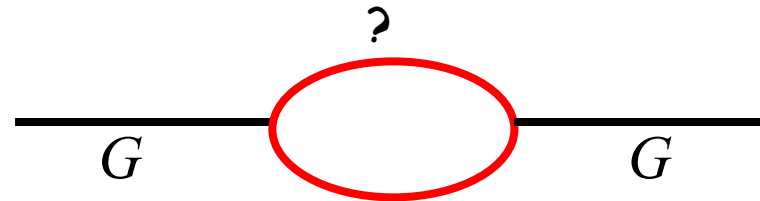
gdy  $\Lambda \leq 0 \quad p \rightarrow \infty \quad A \rightarrow \text{const}$

zaś  $\Lambda > 0 \quad p \rightarrow \infty \quad A \rightarrow \infty$

Jeśli rozbieżność jest "powolna" to można taką  $\infty$  usunąć przeprowadzając tzw. **renormalizację**.



Podobnie jak w EM gdzie ruch przyspieszony ładunku powoduje powstanie fali EM, tak w ogólnej teorii względności TW, ruch przyspieszony mas kreuje falę grawitacyjną. Fala ta wynosi moment pędu  $J=2$ . Stąd zresztą podejrzenie, że grawiton  $G$  ma  $\text{spin}=2$ .

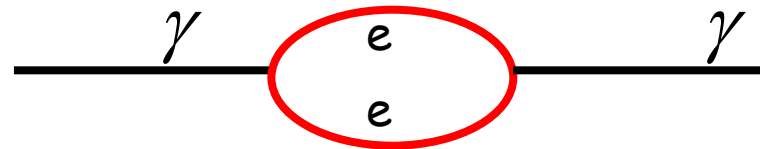


Jeśli powołamy się na całkę poprzednią to

$$\Lambda = 4 \cdot 2 + \underbrace{\text{dim}}_4 - 8 = 4 \quad p \rightarrow \infty \quad A \rightarrow \infty$$

Jest to taka nieskończoność, której metodami jej usuwania (**RENORMALIZACJA**) usunąć się nie da! Kłopot - dlatego problem z kwantową teorią grawitacji.

Uwaga! np. dla fotonu (oddział. EM)

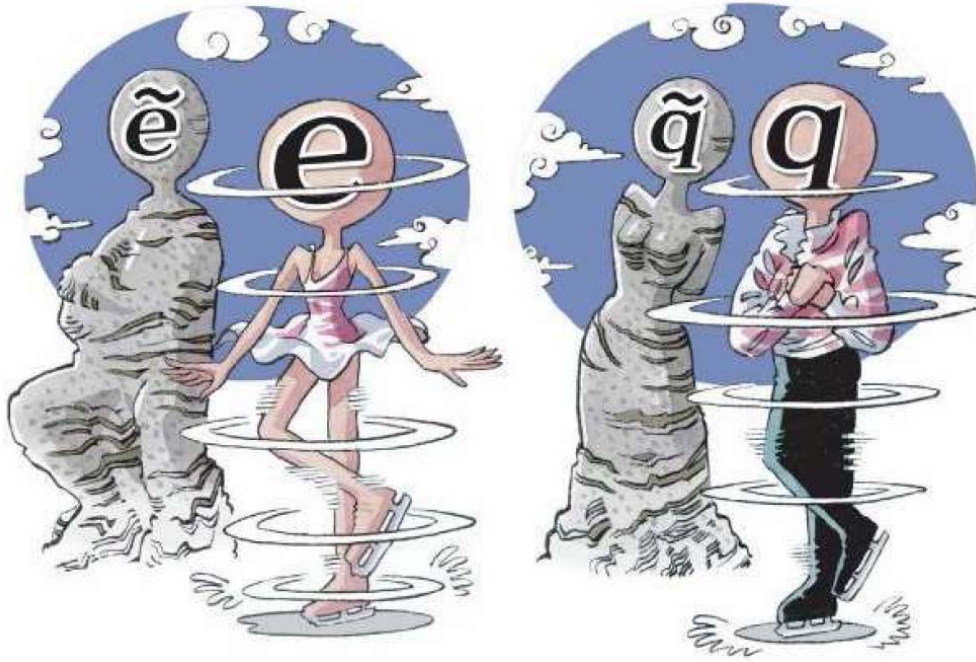


amplituda  $A$  (czyli całka)  $\Lambda = 4 \cdot 1 + \underbrace{\text{dim}}_4 - 8 = 0 \quad p \rightarrow \infty \quad A \rightarrow \text{const}$

# Czy istnieją obiekty z poza Modelu Standardowego ?

Higgs ratuje sprawę mass cząstek ale z teorii wynika, że jego masa jest nieskończona. Tylko Nowa Fizyka może uratować sprawę a w szczególności modele SuperSymetryczne SUSY.

Model Standardowy wydaje się być częścią jakiegoś ogólniejszego modelu oddziaływań. Najpopularniejszy Model Supersymetryczny. **Nowa Symetria wiąże cząstki pośredniczące w oddziaływaniach oraz cząstki kreujące materię** - Z symetrii tej wynika, że **każda istniejąca dotychczas cząstka ma swojego odpowiednika o innym spinie.**



*bosons ↔ fermions*



$\hat{O}|bozony\rangle \rightarrow |fermiony\rangle$

Każdy obiekt w SM ma swojego kontr-partnera

cząstki SM	partnerzy SUSY	symbol	spin
leptons $l$	s-leptons	$\tilde{l}$	1/2→0
quarks $q$	s- quarks	$\tilde{q}$	1/2→0
neutrino $\nu$	s-neutrino	$\tilde{\nu}$	1/2→0
gluons $8g$	gluinos	$8\tilde{g}$	1→1/2
photon $\gamma$	photino	$\tilde{\gamma}$	1→1/2
boson $W^\pm$	wino	$\tilde{W}^\pm$	1→1/2
boson $Z^0$	zino	$\tilde{Z}^0$	1→1/2
Higgs $H$	higsino	$\tilde{H}$	0→1/2

skalarne

Jest wreszcie miejsce na cząstki o spinie  $S = 0$  - skalarne. W podstawowym modelu MSSM

**mamy 5 Higgsów** - ale te obiekty nie spełniają już roli "nadawacza" mas. Bo w modelach SUSY masy cząstek już nie są zerowe.

$$(H^+, H^-, h^0, \mathcal{H}^0, A^0)$$

masy cząstek SUSY są a priori nieznane i zależą od wielu parametrów modelu (różnych tego typu modeli). Jak zwykle w fizyce "obserwowane obiekty" są "mieszaniną" obiektów przewidzianych dokładną teorią. Stąd się biorą (najlepiej, jak się podejrzewa) cząstki SUSY - NEUTRALINA (jest ich 4). Najlepiej wtedy jest  $\chi_1^0$

$$\chi_1^0, \chi_2^0, \chi_3^0, \chi_4^0$$

każde z nich jest "mieszaniną"  $h^0, \mathcal{H}^0$  oraz innych obiektów SUSY

Podobnie jest z SUSY Higgsami np.  $h^0 \rightarrow h^0 \sin(\alpha) + \mathcal{H}^0 \cos(\alpha)$  jest "lekkim"

Higgsem - być może to ON został wykryty ostatnio w LHCb.

Doświadczalnie trzeba zbadać wiele różnych procesów ale są dwa zasadnicze warianty.

Wprowadza się liczbę kwantową zwaną parzystością  $R$ .

Wszystkie cząstki SM mają  $R = +1$

Cząstki SUSY mają  $R = -1$

Iloczyn  $R$  jest albo i niezachowany

To zasadniczo wpływa na fizykę rozpadów.

"normalna" SM  $\rightarrow$  SUSY + anti-SUSY np.

$$\tilde{\gamma} \rightarrow \gamma + \tilde{H}^0$$

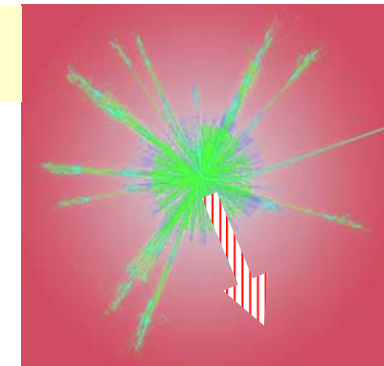
SUSY  $\rightarrow$  inna SUSY + "normalna" SM np.

$$g \rightarrow \tilde{q} + \bar{\tilde{q}}$$

W konsekwencji zawsze zostaje w rozpadzie najlżejsza cząstka SUSY (nazywana **LSP**) - która już dalej (w takim kaskadowym rozpadzie) rozpaść się nie może. Jeśli jest to np. **NEUTRALINO**, które jest nienaładowane, to mamy problem (bo go w detektorze nie wykryjemy)! Ale jest pewna metoda:

brakująca energia = "energia *LHC*" - energia **zmierzona** w detektorze

neutral heavy particles



Ale parzystość R - może być łamana

SUSY → "normalne" cząstki SM

Stan końcowy kaskadowego najczęściej rozpadu wtedy NIE ZAWIERA cząstek SUSY . Wtedy szukamy w detektorze specyficznych rozpadów:



$\tilde{\chi}$

Jeśli Supersymetria jest, to przy obecnych energiach jest łamana, bo nie widzimy cząstek SUSY, które to cząstki zgodnie z Supersymetrią powinny mieć takie same masy ale różne spiny. Obecnie operujemy energiami rzędu EW scale  $\sim 10^2$  GeV

Jaka jest skala energii Nowej Fizyki ?

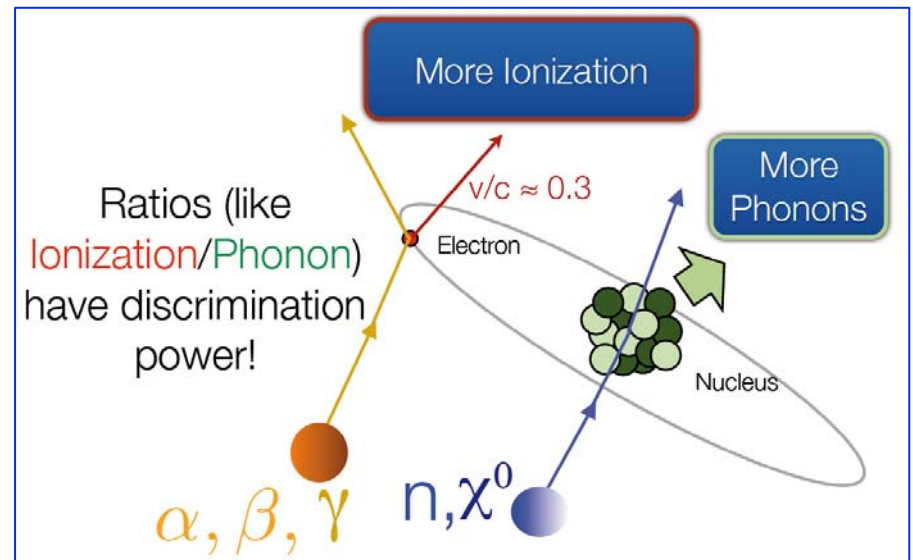
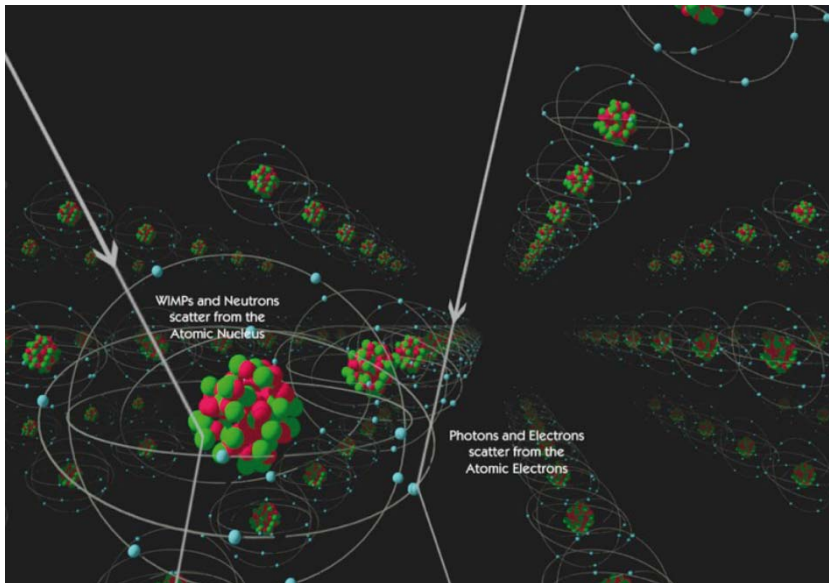
skala SUSY  $\rightarrow 10^3$  GeV (1 TeV) nadzieja LHC albo  $\rightarrow 10^{19}$  GeV beznadzieja

Wracając do ciemnej masy (25%) tzw. WIMP, nie oddz. z naszą standardową materią. Poważne podejrzenie jest, że takimi cząstkami mogą być **LSP - NEUTRALINA**. Oczywiście podlegałoby to scenariuszowi z zachowaniem liczby kwantowej R (cząstka SUSY musi się wtedy rozpaść na SUSY a skoro jest najlżejsza to dalej już rozpaść się nie może).

Ostatnio grupa CDMS (**C**ryogenic **D**ark **M**atter **S**earch - Minnesota) opublikowała **trzy przypadki WIMP**. Technika polega na badaniu elastycznych oddziaływań WIMP z jądrami Si i rejestracji (background) **wzburzeń fononowych** wykraczających poza tło.

Oszacowano masę WIMP na poziomie **8.6 GeV** (9 mass p) i bardzo mały przekrój czynny  $\sigma \approx 2 \times 10^{-41} \text{ cm}^2$

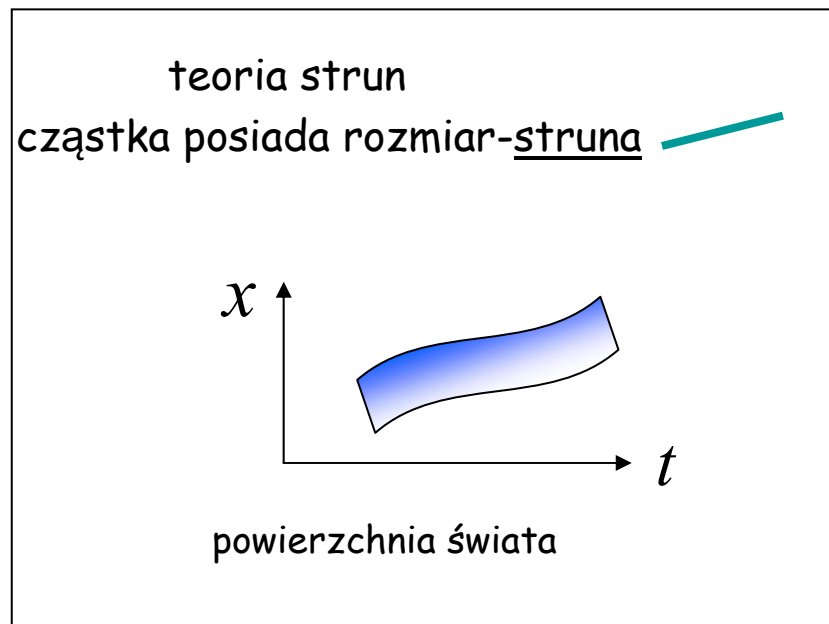
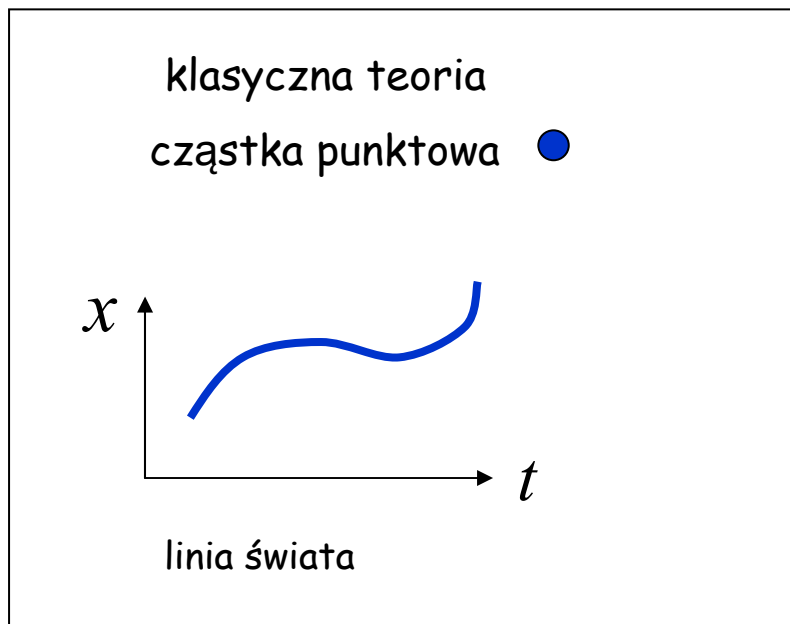
Nawet jeśli to są prawdziwe pomiary to natury tych obiektów nie znamy.



Czy można oczekiwać szerszej teorii uwzględniającej wszystkie braki dotychczasowych ??

## Teoria strun (TS)

Początek - początek lat dwudziestych XX wieku. **Pierwsze podejście do problemu**

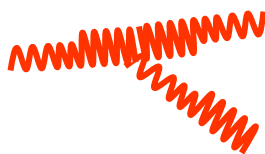
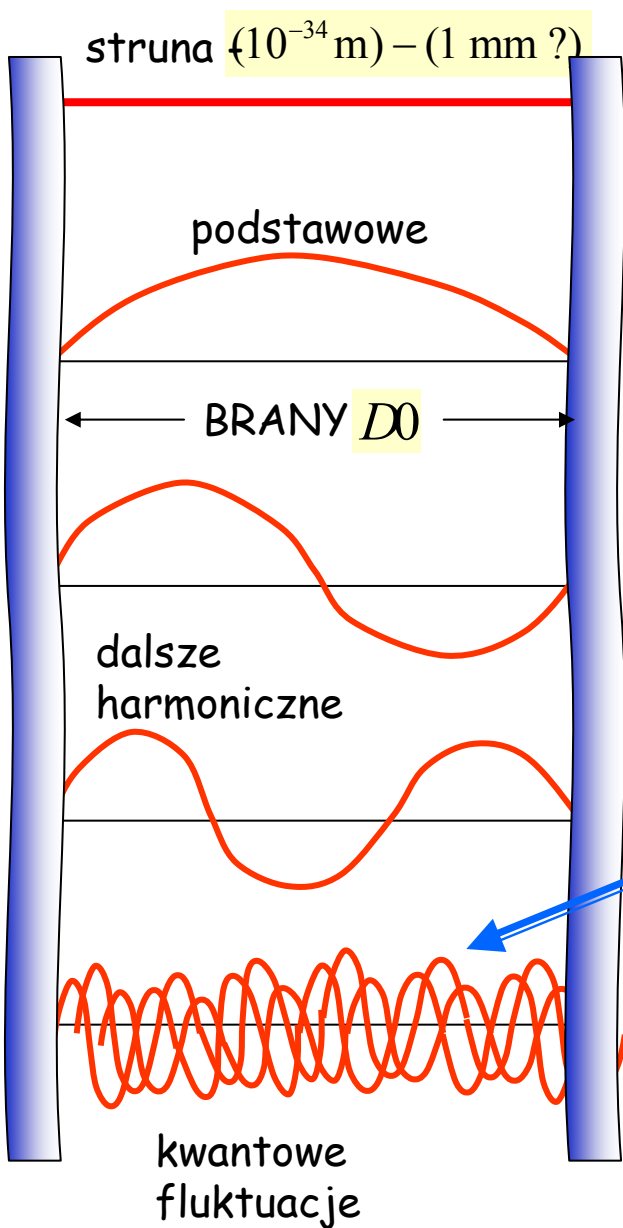


Teoria strun pozbywa się oddział. punktowego (struna ma wymiar) i w związku z tym problemu nieskończoności nie ma (patrz niżej)

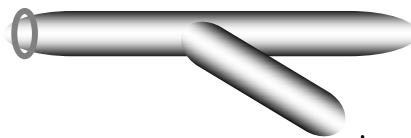
$$\Delta \text{rozmiar} \times \Delta p_{\text{ęd}} \geq \hbar \quad \Delta p_{\text{ęd}} \approx \frac{\hbar}{\Delta \text{rozmiar}} < \infty$$

całki amplitud w pętlach nie mają  $\infty$

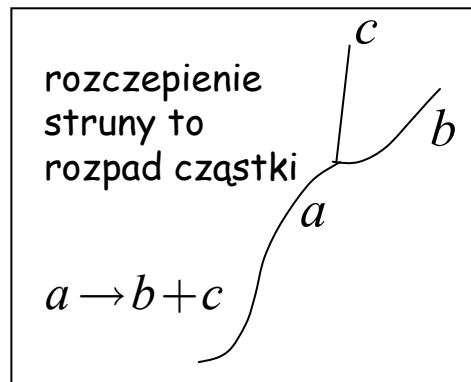
Wzbudzenia struny - odpowiadają stanom fizycznym - cząstkom. Struny są przymocowane do tzw. membran, brany-D0



punktowe-  
gwałtowne twarde  
rozczerpie



struny-  
miękkie  
rozczerpie



Każde wzbudzenie  $\rightarrow$  różne  $E \rightarrow$  różne masy. Do energii (masy) przyczyniają się różne wzbudzenia (każdy wymiar ma osobną wibrację).

Napięcie struny odpowiada masie spoczynkowej

Każda harmoniczna  $\rightarrow$  daje przyczynek do  $E$

Przyczynek z minimalnych drgań dozwolonych przez zasadę nieoznaczoności prowadzi do energii ujemnej (masa urojona). Okazuje się, że Dla "naszych" 4 wymiarów całkowita energia jest ujemna (zero-point fluctuations).  $V > c$

Takie struny (obiekty) to Tachiony,

## Dodatkowe

Czy w takiej mechanice mamy ciągle słuszną zasadę nieoznaczoności Heisenberga? W teorii strun nie możemy zmierzać  $\Delta x \rightarrow 0$  bo struna ma rozmiar, a to znaczy, że  $\Delta p \neq \infty$ . Stąd

$$\Delta p = \frac{\hbar}{\Delta x} + \alpha' \frac{\Delta x}{\hbar}$$

Parametr  $\alpha' \sim \frac{1}{T_{string}}$  gdzie  $T_{string}$  jest tzw. napięciem struny

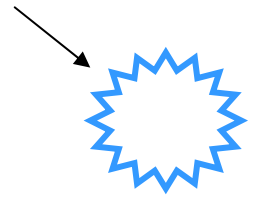
Struna się wzbudza (wibruje) - każde wzbudzenie to inny obiekt (cząstka)

Przy wzbudzeniu związek pomiędzy spinem a masą zależy od napięcia struny

$$J \sim \frac{m_J}{T_s}$$



Zauważmy, że każda wibracja odbywa się w osobnym wymiarze ! Lekarstwo: Można oddalać BRANY aby zlikwidować "napięcie struny" - wtedy struna zamknie się. Nie musi (ale może wibrować) ale nawet jak nie wibruje to posiada ujemną energię i jest Tachionem. **Tachion traktowany jest jako stan wysokiej niestabilności.**

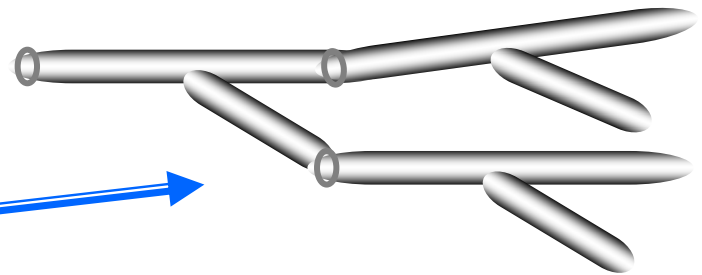


Można jednak tak dobrać liczbę wymiarów aby

$$m_{struny} = 0 \quad (\text{fotony i grawitony})$$

Ale jest ich wtedy **dim=26 !** (wydawałoby się, że teoria strun nie ma sensu ale wprowadzono **SUPERSTRUNY (SS-struny)** - związek z **Supersymetriami**.

Problem jeszcze inny - zwykłe struny - nie mogły również opisać oddziaływań

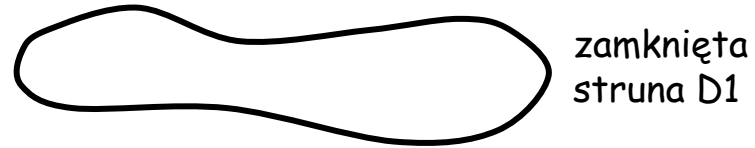


Wprowadzenie SStrun zmniejszyło liczbę wymiarów do **dim=10** ale kosztem wprowadzenia całej klasy **nowych obiektów** będących **uogólnieniem D0-brane**. ▶

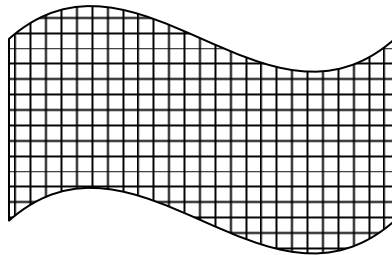
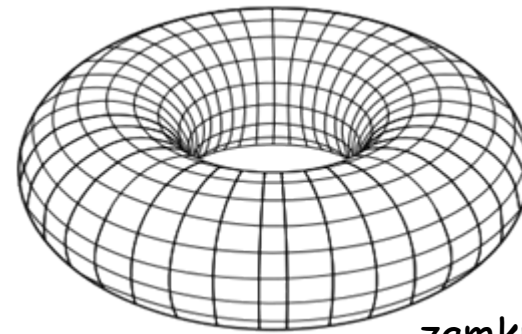
Ale my operujemy czterema wymiarami - space+time ! Co z resztą ? Poważny problem ! **KOMPAKTYZACJA. Pozostałych 6 (7) wymiarów są "małe" w sensie zwinięte.** Ich **promień to najwyżej ułamki milimetra.** Rozmaitości Calabiego-Yau (Topologia) ▶

Dp-brany ( $p=1,9$ ) są ulokowane tam gdzie zaczynają się i kończą struny - D-brany zachowują się obiekty, które mogą oddziaływać i się poruszać. Brany mogą też mieć ładunek.

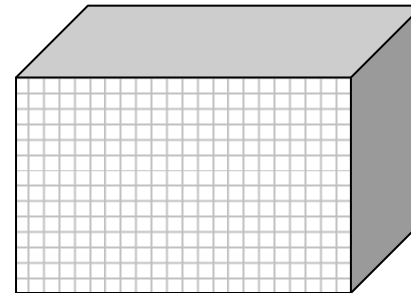
D0 • już znane Cząstka punktowa - może mieć ładunek  $\pm 1$



D1 segment struny

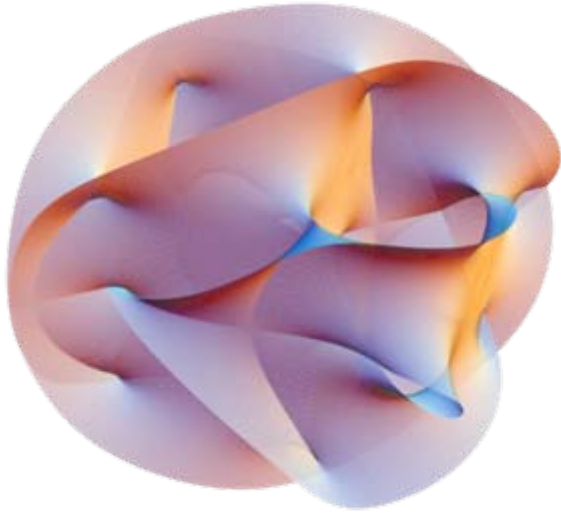


D2



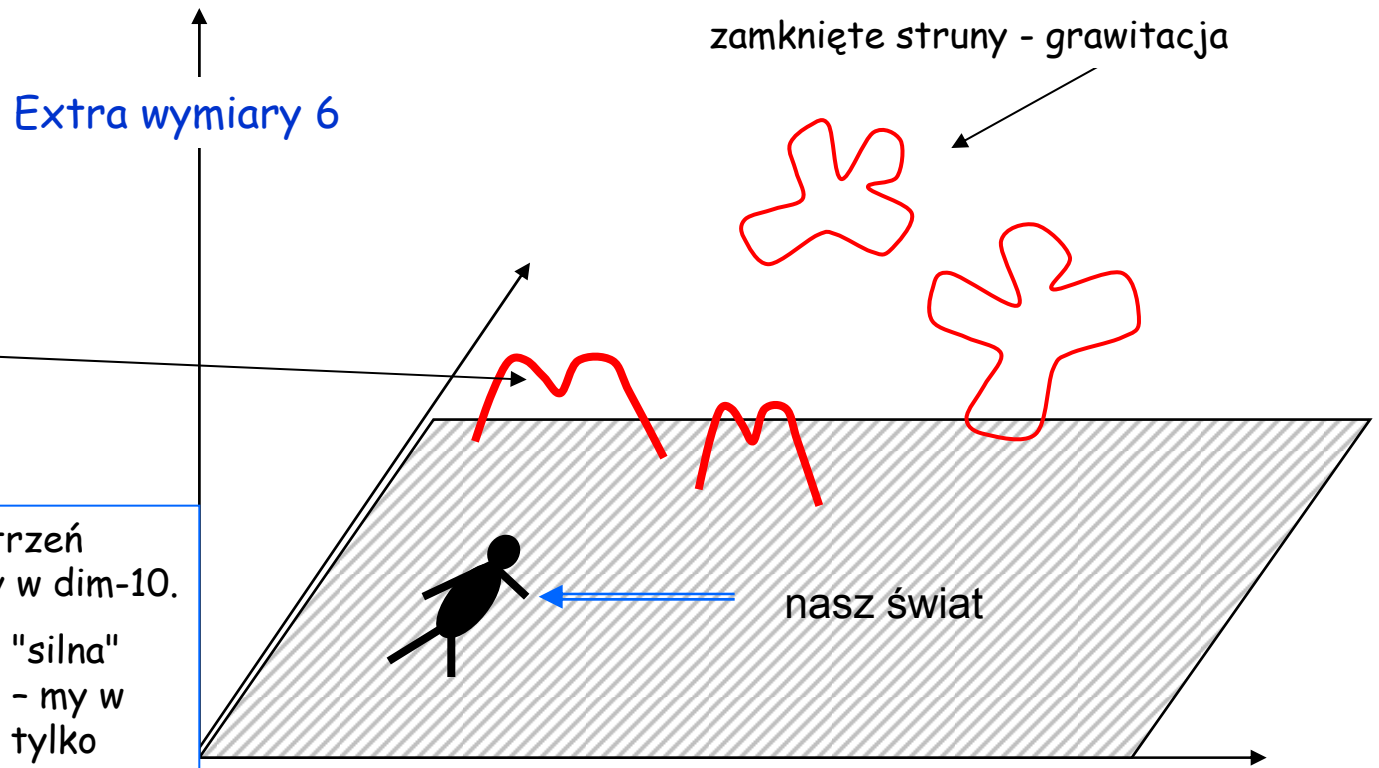
D3





Tak wygląda topologia zwiniętych dodatkowych 6 wymiarów wg Calabiego-Yau

To jest b. ważne ! **Odpowiednie "zwinięcie" gwarantuje poprawny opis zgodny ze SM oraz poprawne oddziaływania !**



otwarte struny  
Standardowy  
Model

3 Brane to nasza przestrzeń  
Wszechświat zanurzony w dim-10.

Dlatego grawitacja jest "silna"  
ale w innych wymiarach - my w  
naszym świecie widzimy tylko  
"ślad" grawitacji.

zamknięte struny - grawitacja

nasz świat

Istniała już wcześniej teoria **Supergrawitacji SG** (ogólna teoria względności + supersymetria !!!) zakładająca 11 - wymiarów ! Supergrawitacja jest nisko-energetycznym przybliżeniem TSS)

$10^{16}$  GeV



Istnieje kilka różnych typów teorii (różne własności BRAN oraz różne 10 vs 11 wymiary). **DUALIZM STRUN** stwierdza, że są one w pewnym sensie równoważne - różny opis tej samej rzeczywistości.

Znaleziono dualność pomiędzy dim-10 SStrun a dim-11 SGrawitacją. Istnieje poparty badaniami pogląd, że  $\exists$  **M-teoria** która byłaby Ogólną Teorią (Teorią Wszystkiego) - na zasadzie dualizmu pozostałe teorie byłyby dualne do niej. Byłaby to teoria UNIFIKUJĄCA wszystkie podejścia. Z dotychczasowych badań strun widać powoli jakie postulaty powinna spełniać. Te często kontrowersyjne scenariusze nie idą na marne !!!!

**Weryfikacja teorii trudna - naprzód trzeba zweryfikować supersymetrię - głęboka wiara w LHC. Ale teoria strun jak i supersymetria może być symetrią w skali energii Plancka !!!!**

Wtedy w zasadzie dalsze badania kosmologiczne mogą rzucić ew. światło.