

The background features a complex, blue-toned image of particle collision tracks radiating from a central point, set against a dark, geometric pattern. A vertical line on the left side is labeled 'CURRENT PROJECTS'. In the bottom right corner, the CERN logo is visible with the text 'ADVANCED PARTICAL COLLIDER' below it.

**What is missing in the Standard Model -
concepts and ideas**

**Czego brakuje w Modelu Standardowym -
koncepty i idee**

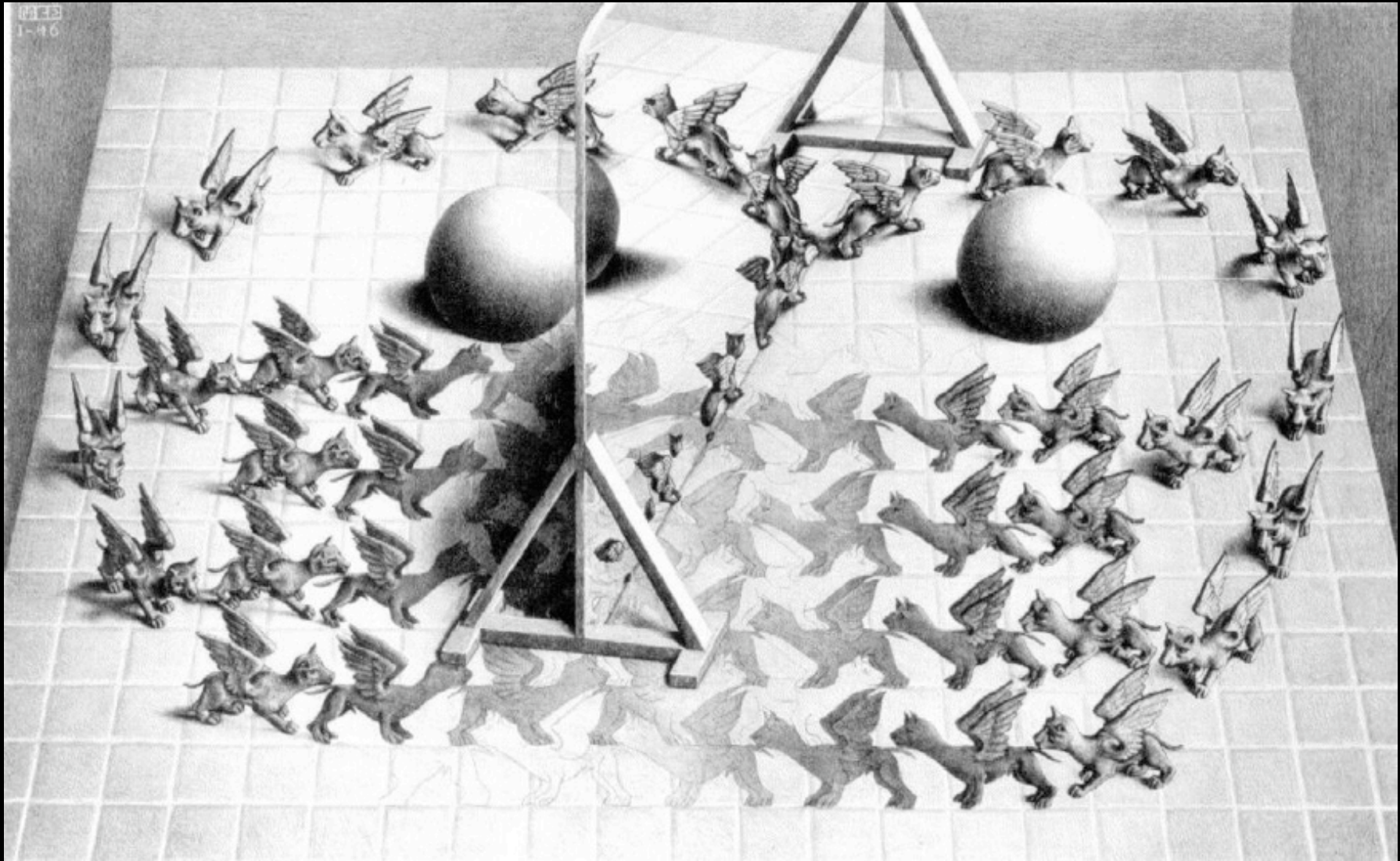
Krzysztof Kurek
Soltan Institute for Nuclear
Studies, Warsaw

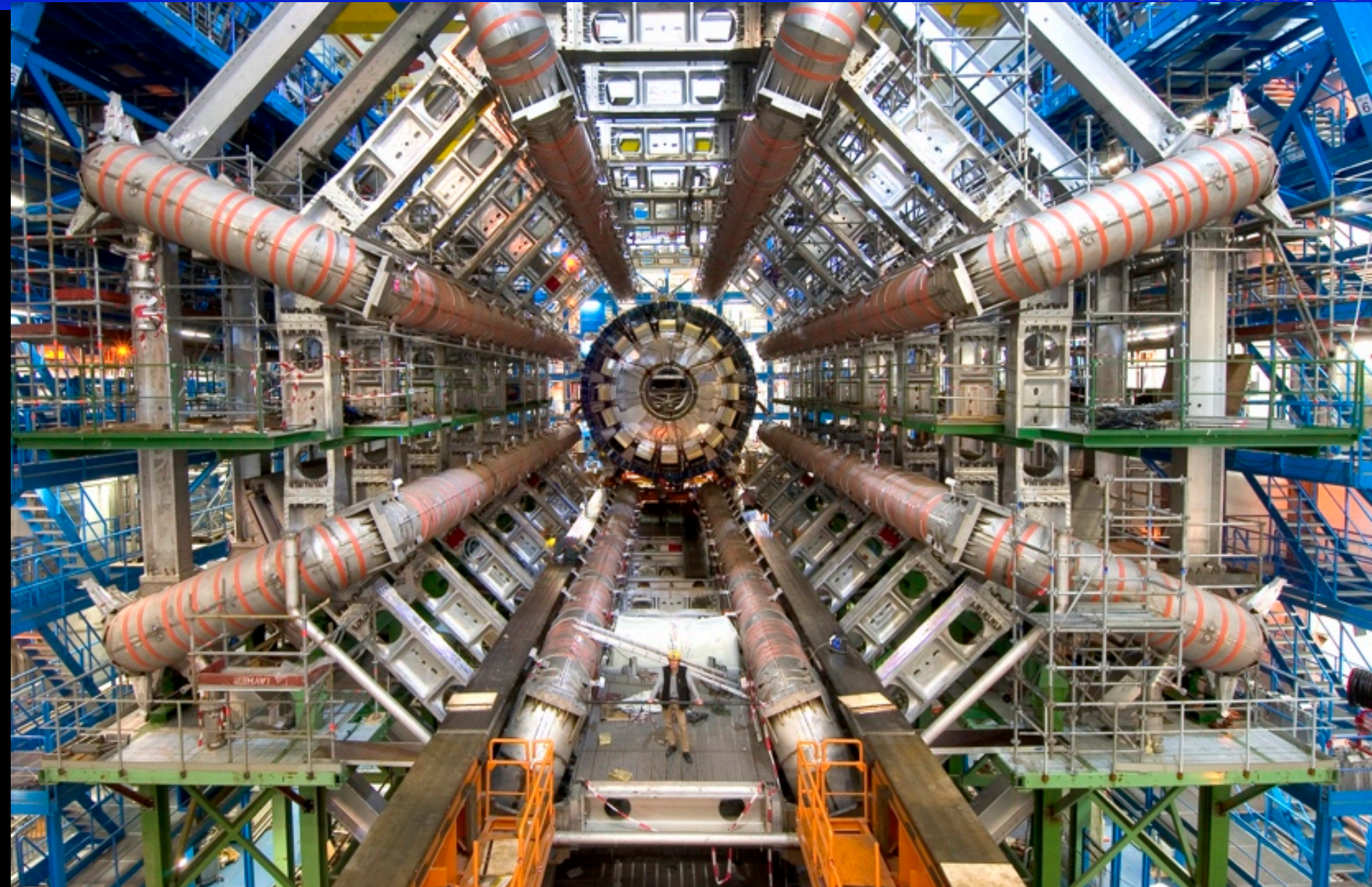
CERN, Polish Teachers Programme 09/2009

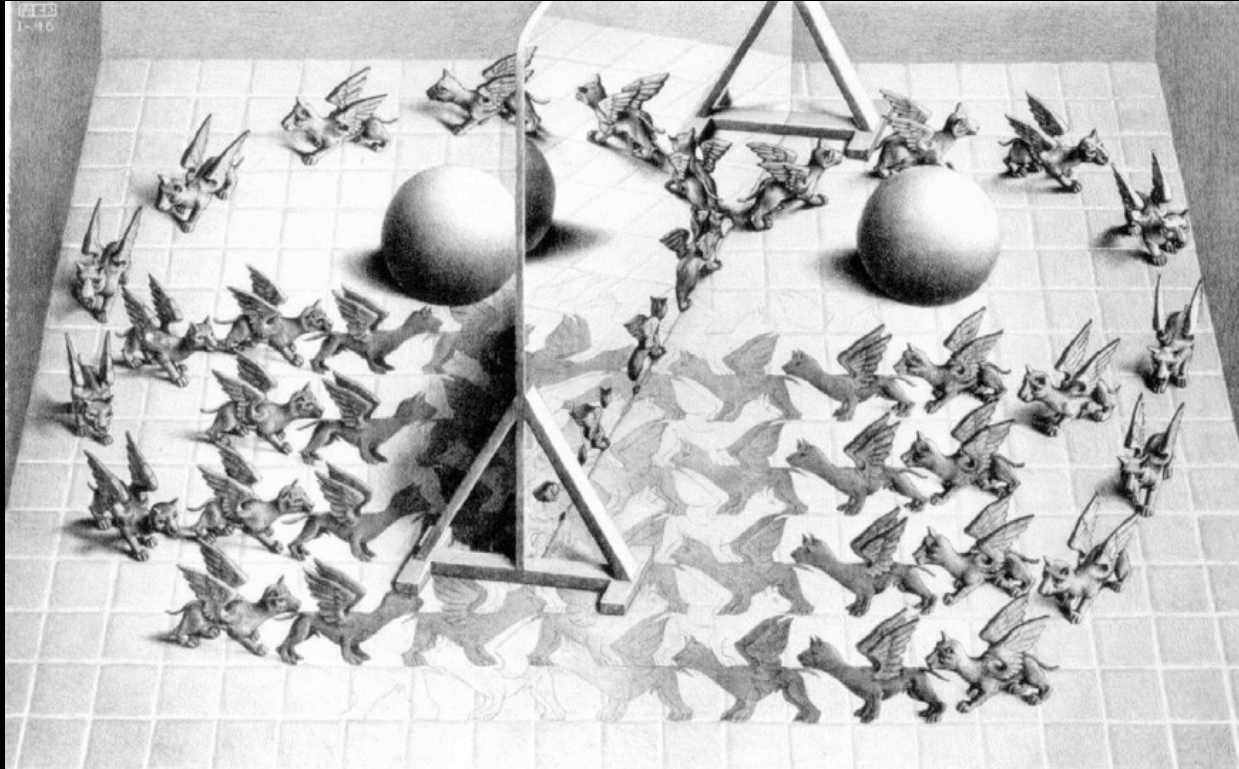
Plan

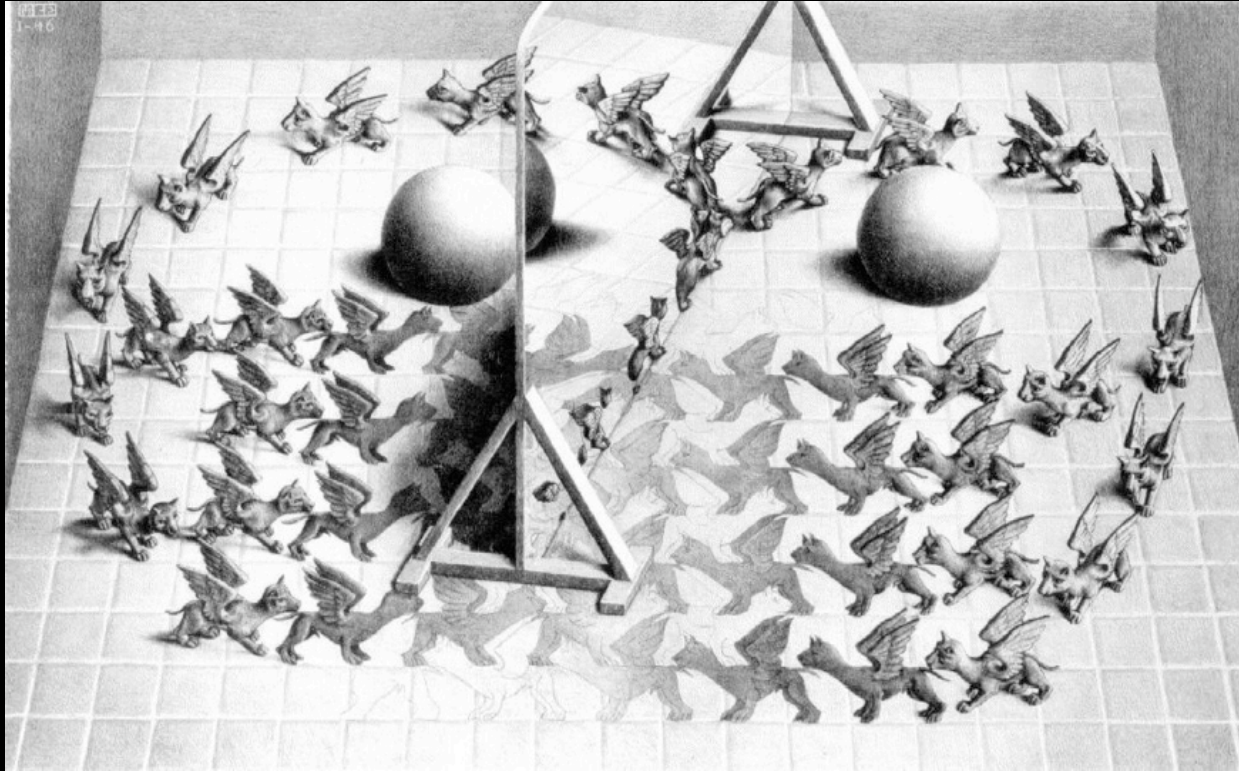
- Symetrie w Fizyce
- Elektrodynamika i równania Maxwella - pierwsza poważna unifikacja
- Fotony - kwantowa natura światła
- Rodzaje oddziaływań elementarnych - inne rodzaje “fotonów”
- Masa fotonu i “ciężkie światło”
- Spontaniczne naruszenie symetrii czyli jak jeszcze można popsuć symetrie.
- “Boska cząstka” - bozon Higgsa
- Kolorowy świat kwarków
- Model Standardowy

- Czego brakuje w Modelu Standardowym
- Co dalej? Idee i koncepcje (sympersymetria, teoria strun, dodatkowe wymiary)



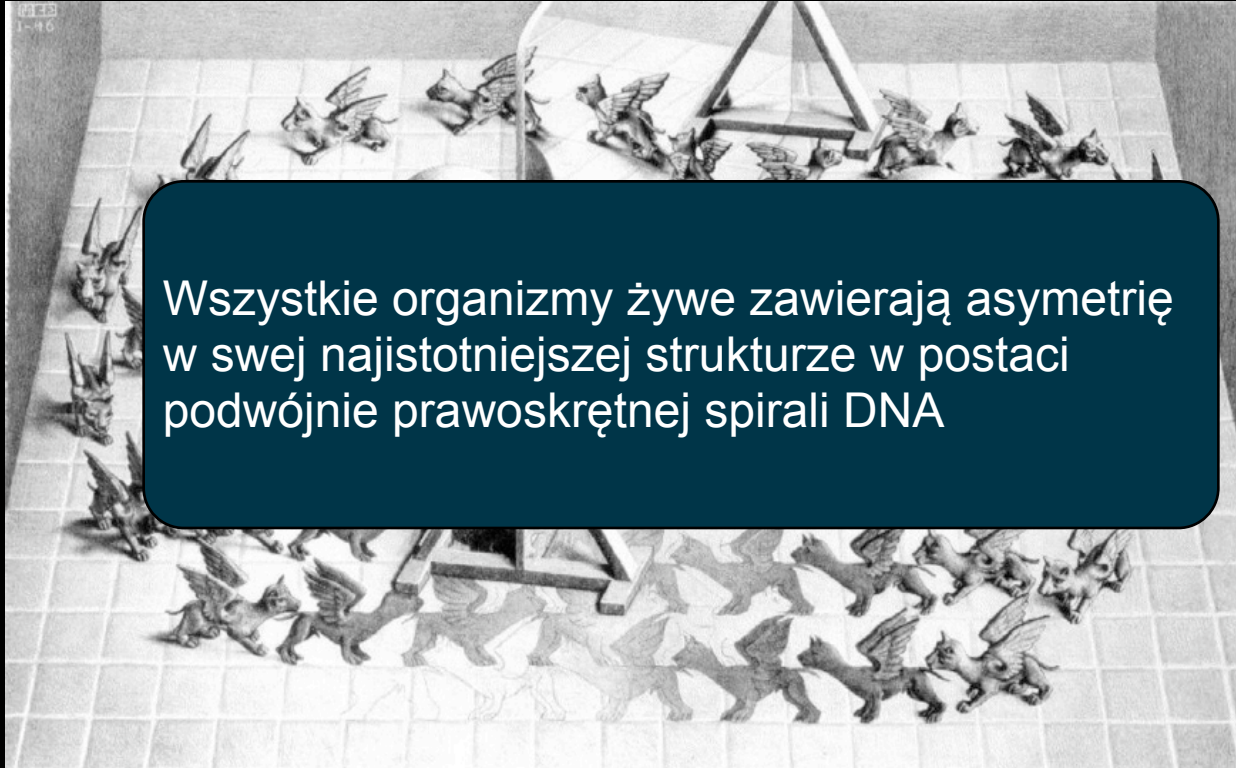




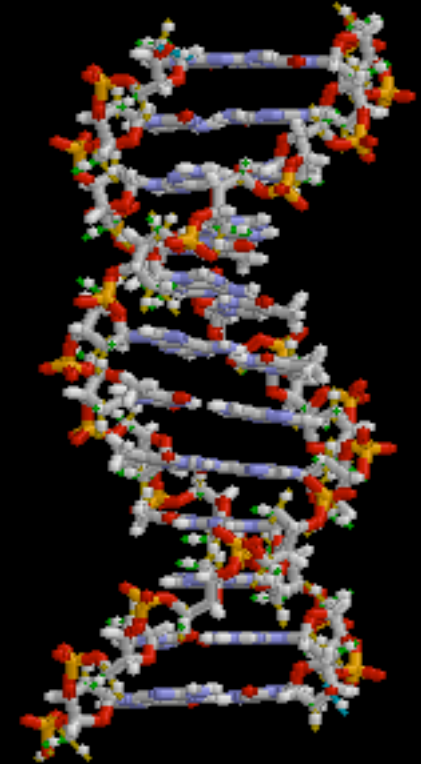


Lekcja nr 2:

Nie wszystkie symetrie są “dokładnie” spełnione w Fizyce;
Symetria zwierciadlana jest naruszona np w procesach rozpadu β neutronu
z udziałem **neutrino - cząstek o jednym tylko stanie spinowym**



Wszystkie organizmy żywe zawierają asymetrię w swej najistotniejszej strukturze w postaci podwójnie prawoskrętnej spirali DNA



Lekcja nr 2:

Nie wszystkie symetrie są “dokładnie” spełnione w Fizyce;
Symetria zwierciadlana jest naruszona np w procesach rozpadu β neutronu z udziałem **neutrino** - cząstek o jednym tylko stanie spinowym

- W równaniach Maxwella “ukrywają” się **fale elektromagnetyczne**
Fale EM “biegną” z prędkością światła - ich badanie doprowadziło do wykrycia **stałości prędkości światła** i sformułowania tzw **Relatywistycznej Niezmienniczości** - transformacji Lorentza - **Szczególnej Teorii Względności**.
- Równania Maxwella są relatywistycznie niezmiennicze (**symetria** teorii)

- W równaniach Maxwella “ukrywają” się **fale elektromagnetyczne**
Fale EM “biegną” z prędkością światła - ich badanie doprowadziło do wykrycia **stałości prędkości światła** i sformułowania tzw **Relatywistycznej Niezmienniczości** - transformacji Lorentza - **Szczególnej Teorii Względności**.
- Równania Maxwella są relatywistycznie niezmiennicze (**symetria** teorii)

Pola E i B dają się wyrazić przez funkcje potencjałów:

1. skalarne - dla pola E
2. wektorowego - dla pola B
(bo nie ma ładunków magnetycznych)

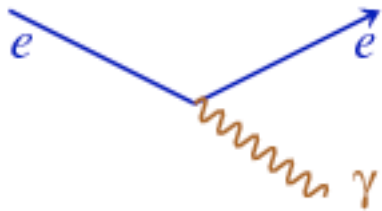
$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} = \vec{\nabla} \times \vec{A}'$$

$$\vec{A}' = \vec{A} + \vec{\nabla} f(x)$$

gdzie $f(x)$ dowolna funkcja skalarna

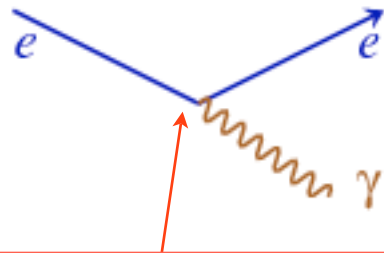
bo:
$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} = 0$$

Mikroświat - świat cząstek elementarnych opisywany jest Mechaniką Kwantową.
Elektron - cząstka “klasycznie” ma w opisie kwantowym przypisaną falę
“prawdopodobieństwa”



Mikroświat - świat cząstek elementarnych
Elektron - cząstka "klasycznie" ma "prawdopodobieństwa"

kwantową.



Symetria cechowania określa jak foton oddziałuje z elektronem. Foton jest "bozonem cechowania"

Classical Picture

Coulomb's Law

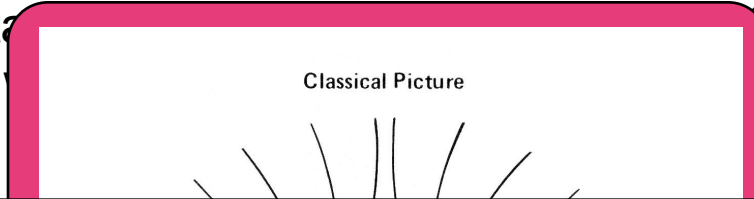
$$V = \frac{e^2}{4\pi} \frac{1}{r} \propto \frac{\alpha}{r}$$

Quantum Picture

Electron Photon Electron

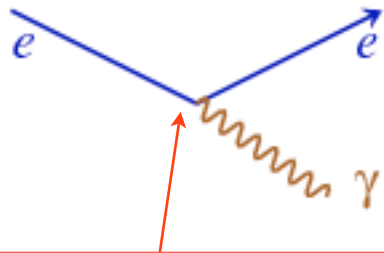
Mikroświat - świat cząstek elementarnych
Elektron - cząstka "klasycznie" ma "prawdopodobieństwa"

kwantową.

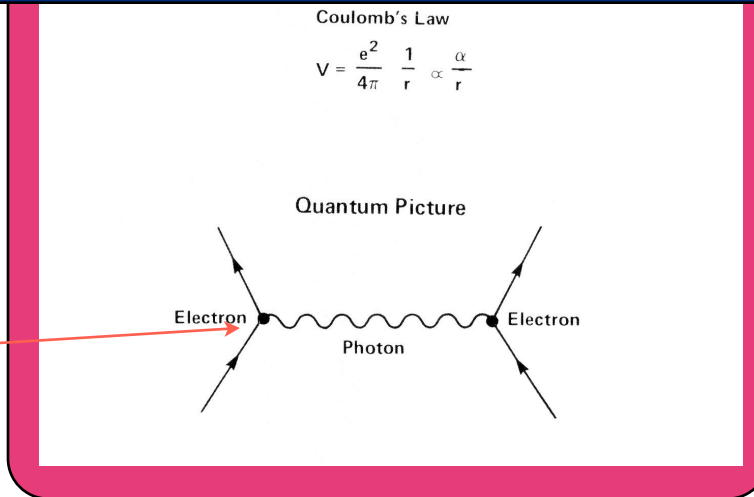


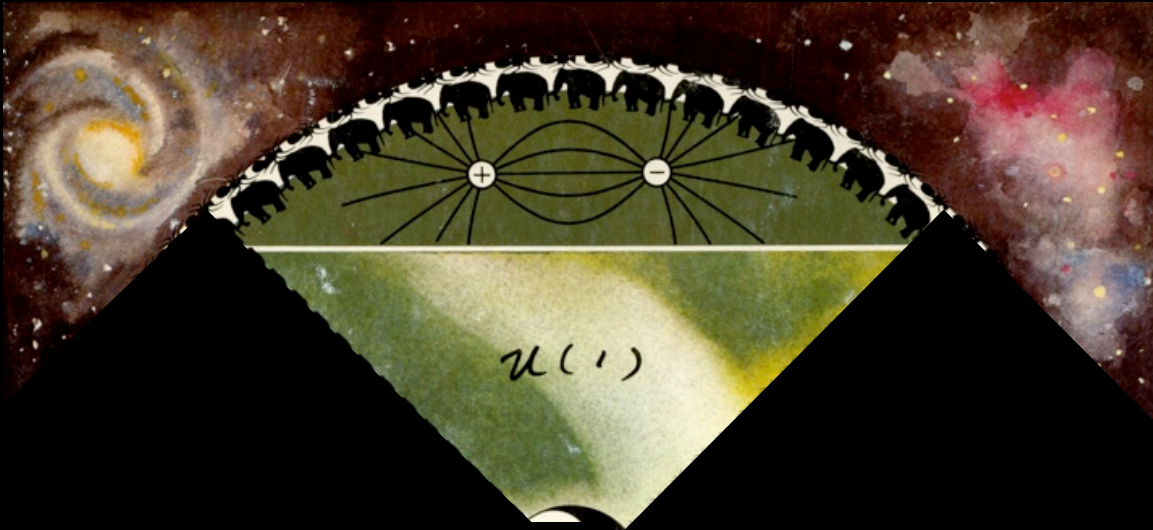
Lekcja nr 4.

Kwenty pola EM to fotony. Fotony "przenoszą" oddziaływania EM między naładowanymi cząstkami chociaż same nie posiadają ładunku elektrycznego (nie mogą oddziaływać same ze sobą)

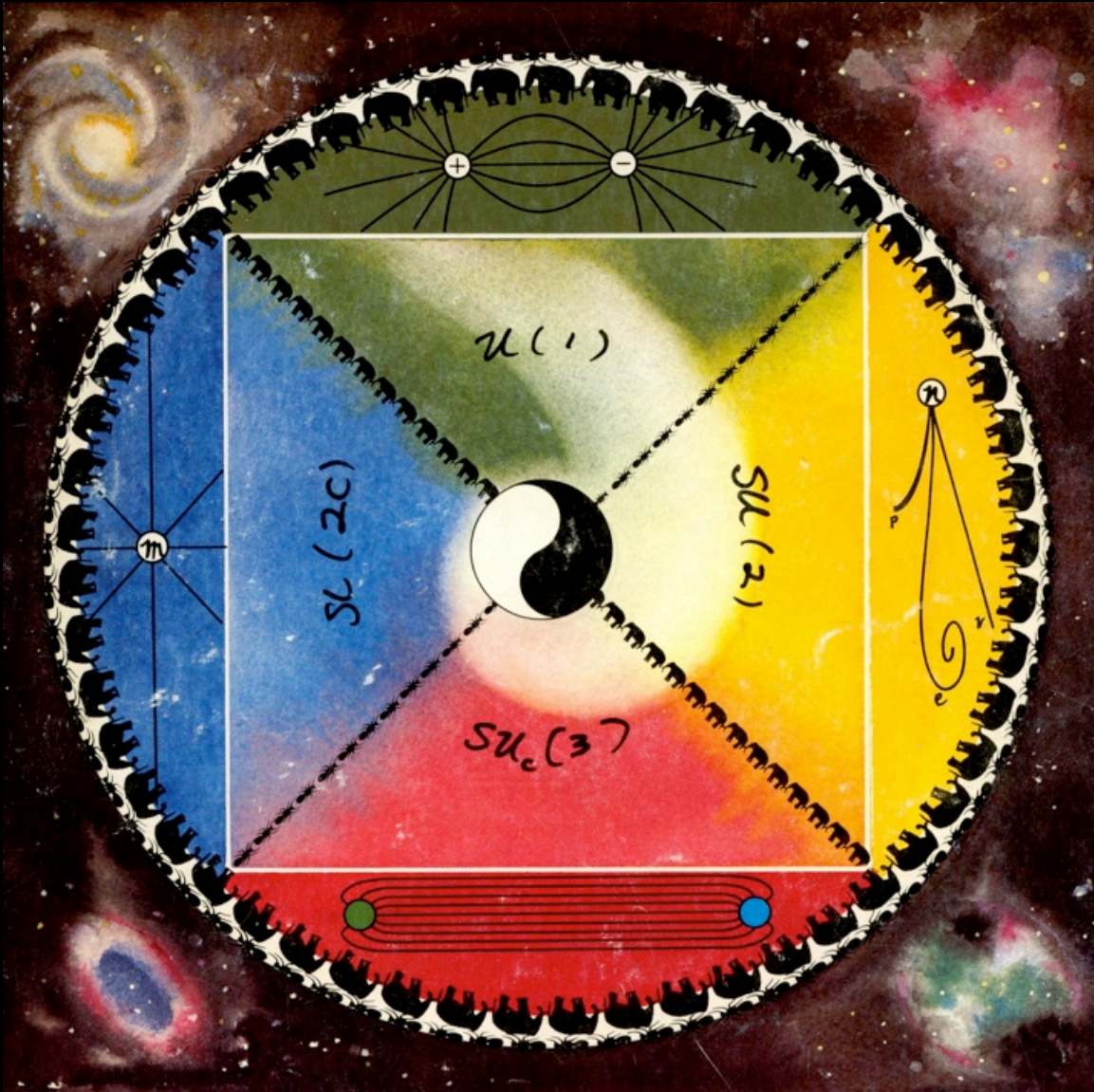


Symetria cechowania określa jak foton oddziałuje z elektronem. Foton jest "bozonem cechowania"





Oddziaływania EM



Oddziaływania EM

Oddziaływania słabe

Oddziaływania grawitacyjne

Oddziaływania silne (Jądrowe)



Zazwyczaj spin cząstki przedstawia się jako wewnętrzny moment pędu - coś na kształt ruchu obrotowego ziemi - wiruje, więc ma moment pędu.



Zazwyczaj spin cząstki przedstawia się jako wewnętrzny moment pędu - coś na kształt ruchu obrotowego ziemi - wiruje, więc ma moment pędu.

Analogia klasyczna - ale spin nie jest klasyczną wielkością!



Zazwyczaj spin cząstki przedstawia się jako wewnętrzny moment pędu - coś na kształt ruchu obrotowego ziemi - wiruje, więc ma moment pędu.

Analogia klasyczna - ale spin nie jest klasyczną wielkością!

1. Gdyby wewnątrz elektronu “wirowała” chmura ładunku to jej prędkość musiałaby być większa od prędkości światła!
2. Obrót o 360° powinien “nie zmieniać” sytuacji fizycznej - ale zmienia znak funkcji falowej elektronu !

O spinie trzeba raczej myśleć w kategoriach liczby kwantowej i własności symetrii



Zazwyczaj spin cząstki przedstawia się jako wewnętrzny moment pędu - coś na kształt ruchu obrotowego ziemi - wiruje, więc ma moment pędu.

Analogia klasyczna - ale spin nie jest klasyczną wielkością!

1. Gdyby wewnątrz elektronu “wirowała” chmura ładunku to jej prędkość musiałaby być większa od prędkości światła!
2. Obrót o 360° powinien “nie zmieniać” sytuacji fizycznej - ale zmienia znak funkcji falowej elektronu !

O spinie trzeba raczej myśleć w kategoriach liczby kwantowej i własności symetrii

Naładowana cząstka np. elektron ma dwie cechy: ładunek i spin
Dotychczas wykorzystywano w zasadzie tylko ładunek - elektryczność i magnetyzm, elektronika itp. Ostatnio powstaje “**spintronika**” - wykorzystanie spinów do przetwarzania informacji i sygnałów



Zazwyczaj spin cząstki przedstawia się jako wewnętrzny moment pędu - coś na kształt ruchu obrotowego ziemi - wiruje, więc ma moment pędu.

Analogia klasyczna - ale spin nie jest klasyczną wielkością!

1. Gdyby wewnątrz elektronu “wirowała” chmura ładunku to jej prędkość musiałaby

Lekcja nr 5.

Cząstki dzielimy na fermiony (leptony i kwarki) i bozony (np. foton)

Fermiony - cząstki o spinach “połówkowych” np. $1/2$, $3/2$...

Bozony - cząstki o spinie całkowitym np. 0, 1, 2 ...

Najważniejszą konsekwencją bycia fermionem jest zakaz Pauliego

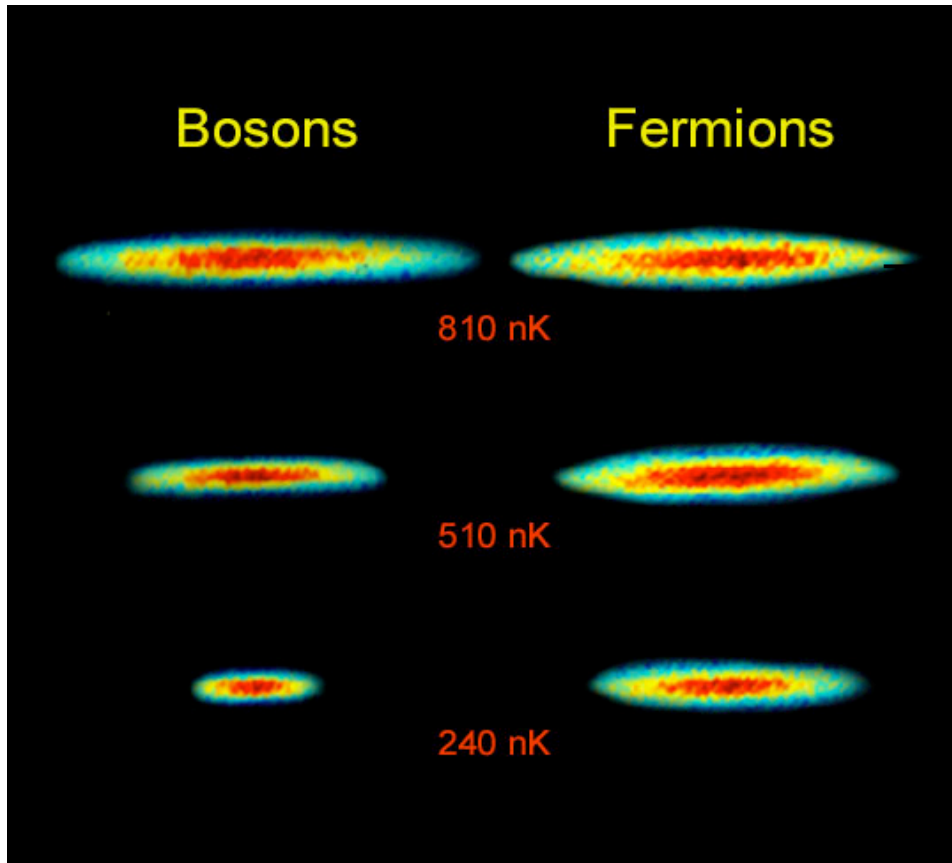
niezadwójna cząstka np. elektron ma dwa cechy: ładunek i spin

Dotychczas wykorzystywano w zasadzie tylko ładunek - elektryczność i magnetyzm, elektronika itp. Ostatnio powstaje “**spintronika**” - wykorzystanie spinów do przetwarzania informacji i sygnałów

Zakaz Pauliego

Dwa fermiony nie mogą występować w tym samym stanie kwantowym

Anty-socjalne zachowanie fermionów :-)



Eksperyment w Rice University
Ultra zimne atomy Litu.
Dwa izotopy: Lit-7 - bozon, Lit-6 fermion.
Widać, jak zakaz Pauliego przeciwdziała “zapadaniu” się chmury gazu Litu dla fermionowej składowej.

Symetrię teorii można “popsuć” dodając takie oddziaływanie które po prostu nie zachowuje symetrii - oddziaływania słabe nie zachowują symetrii odbić przestrzennych bo neutrino ma tylko jeden stan spinowy. To jest **jawne naruszenie symetrii**.

np. siła Lorentza działająca na ładunek poruszający się w polu magnetycznym nie jest centralna a więc narusza symetrie obrotową

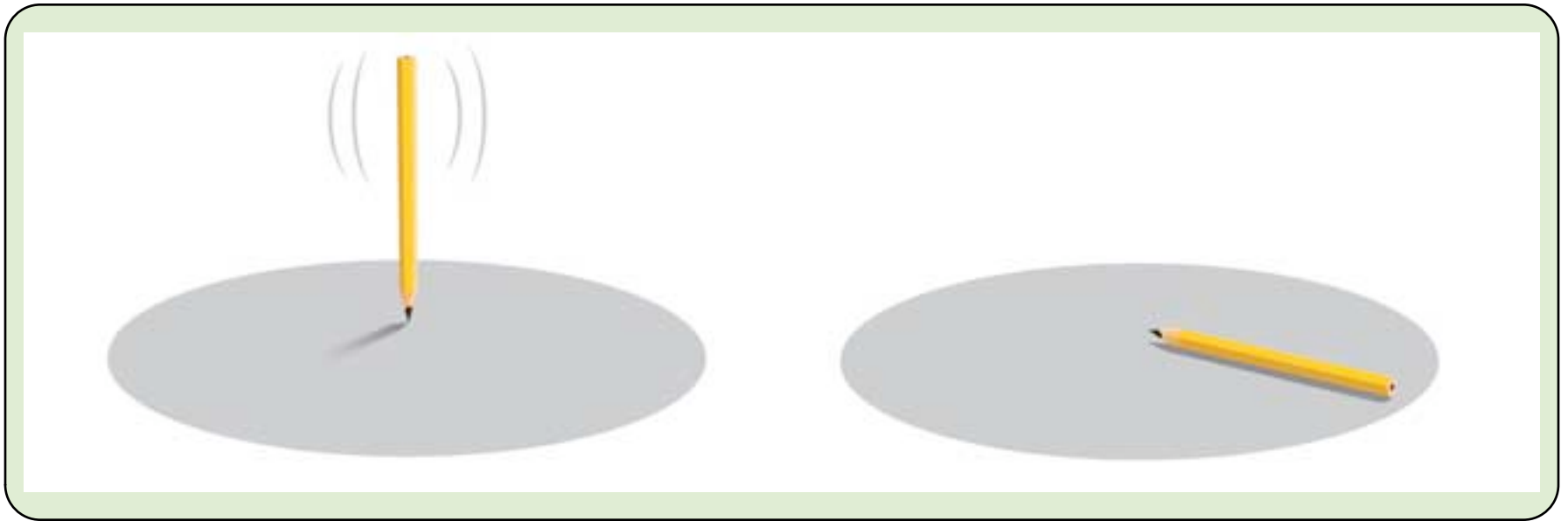
W teoriach kwantowych sam opis oddziaływań nie wystarczy. Trzeba jeszcze zdefiniować stan podstawowy - o najniższej energii - stan próżni.

A co z symetrią stanu podstawowego?

Symetrię teorii można “popsuć” dodając takie oddziaływanie które po prostu nie zachowuje symetrii - oddziaływania słabe nie zachowują symetrii odbić przestrzennych bo neutrino ma tylko jeden stan spinowy. To jest **jawne naruszenie symetrii**.

np. siła Lorentza działająca na ładunek poruszający się w polu magnetycznym nie jest centralna a więc narusza symetrie obrotową

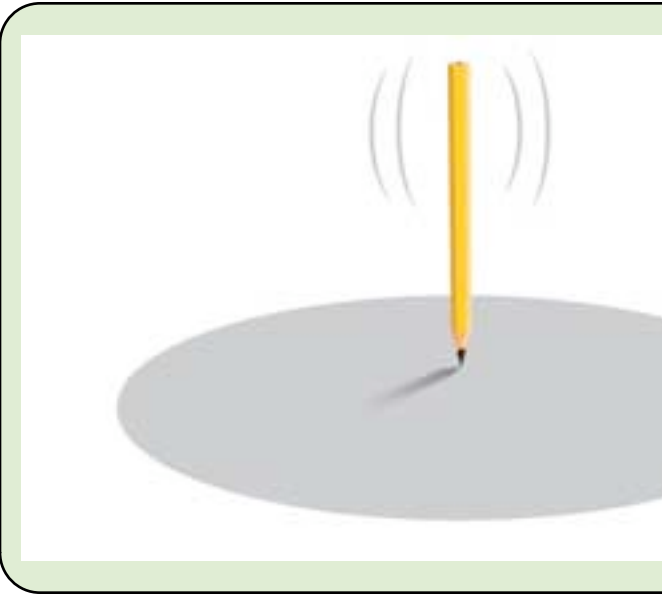
W teoriach kwantowych sam opis oddziaływań nie wystarczy. Trzeba jeszcze



Symetrię teorii można “poprosić” o zachowanie symetrii - oddziaływanie przestrzennych bo neutrinowe naruszenie symetrii.

np. siła Lorentza działająca nie jest centralna a więc narusza

W teoriach kwantowych są

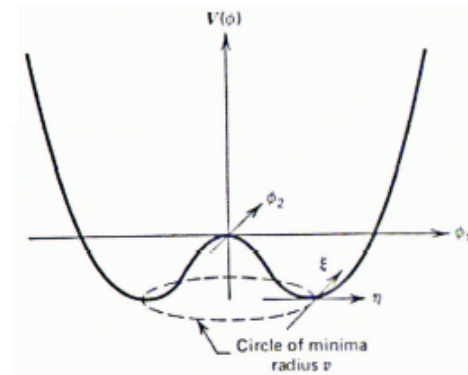
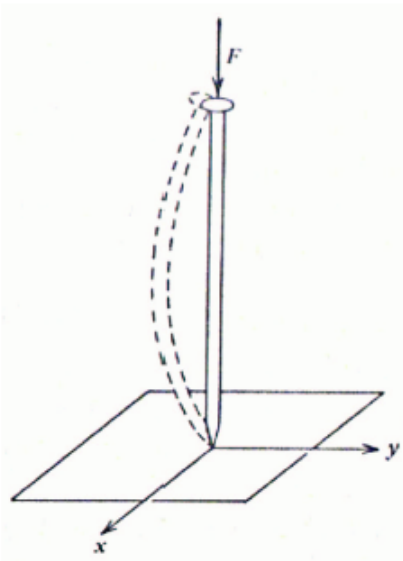


(a)



(b)

Inny model: drgania ściskanego pręta



Energia potencjalna, względem obrotu wokół osi Z.

wciąż ma symetrię

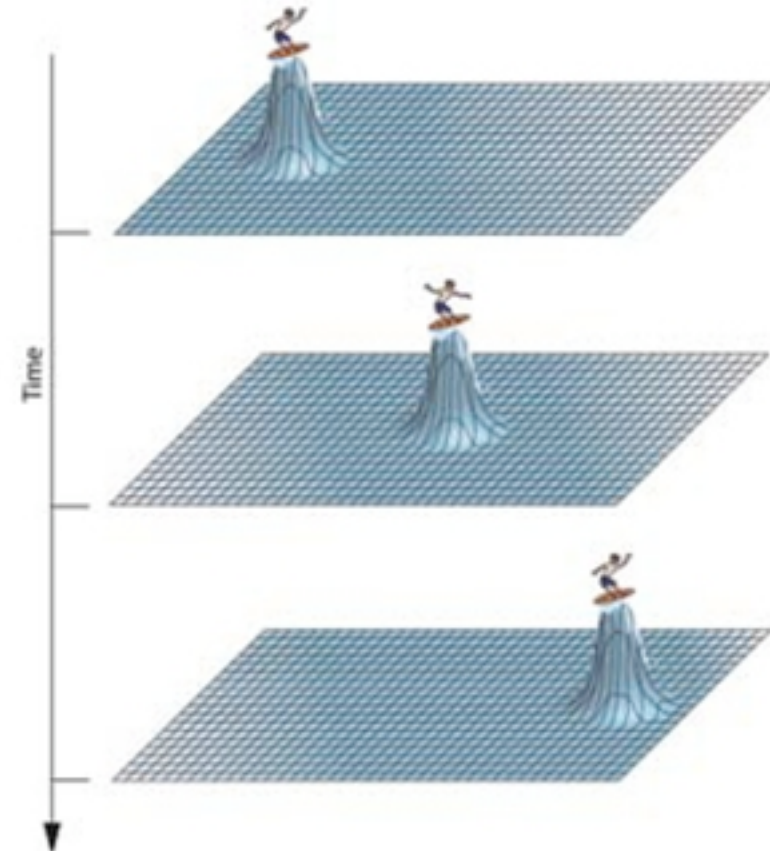
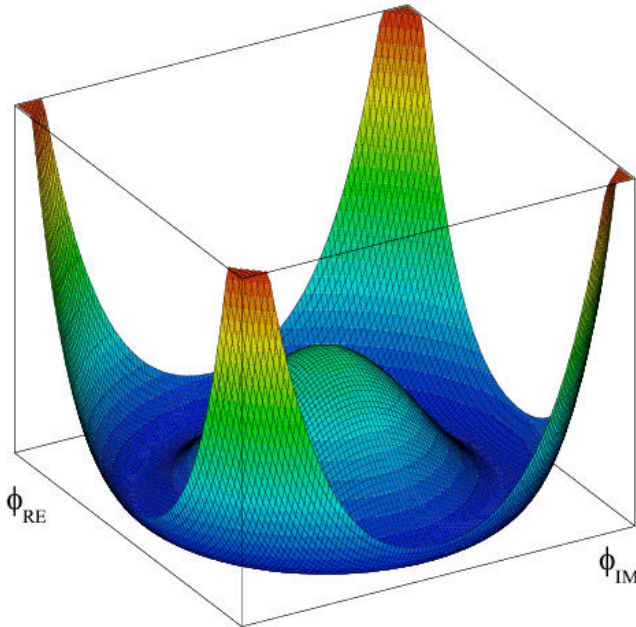
Ale stan podstawowy (o najniższej energii) odpowiada $\phi \neq 0$

Zbiór stanów o $|\phi| = v$ wciąż jest osiowo symetryczny (pręt mógłby się wybrzuszyć w dowolną stronę)

Ale "Przyroda" musi wybrać jeden stan podstawowy \Rightarrow spontanicznie łamie symetrię "teorii"

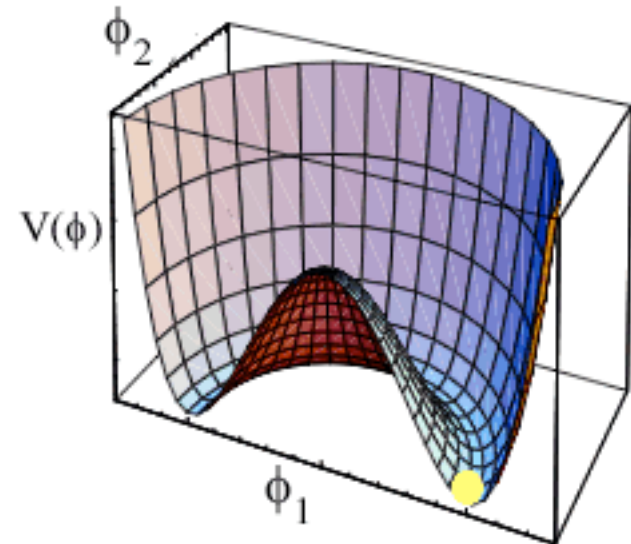
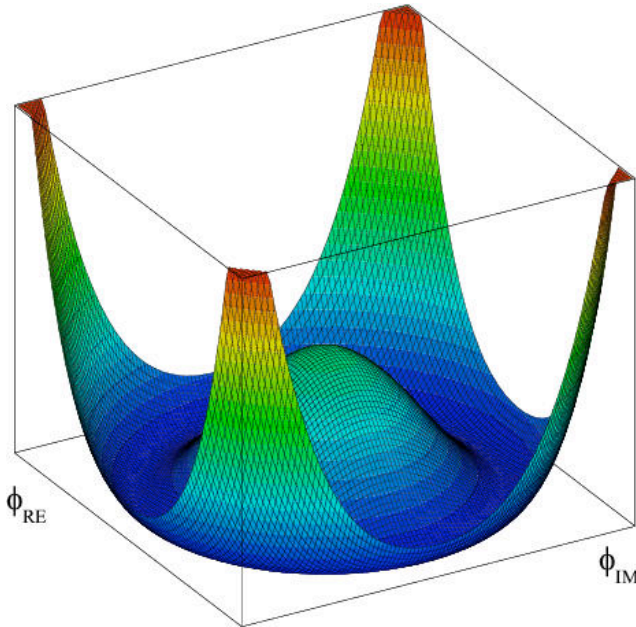
pręt wybrzusza się tracąc symetrię osiową...

Potencjał typu “meksykańskiego kapelusza”



cząstki elementarne można rozumieć jako przejaw drgań pola - np fotony jako drgania pola EM. **W meksykańskim kapeluszu “drga” bozon Higgsa, dla którego wybór stanu podstawowego narusza symetrię cechowania**

Potencjał typu “meksykańskiego kapelusza”



cząstki elementarne można rozumieć jako przejaw drgań pola - np fotony jako drgania pola EM. W meksykańskim kapeluszu “drga” bozon Higgsa, dla którego wybór stanu podstawowego narusza symetrię cechowania

Pomysł polega na połączeniu **symetrii cechowania** z obecnością skalarnych (czyli o spinie 0) **cząstek Higgsa** których stan podstawowy **narusza tę symetrię spontanicznie**. Kształt potencjału - typu meksykańskiego kapelusza jest wynikiem oddziaływań cząstek Higgsa ze sobą.

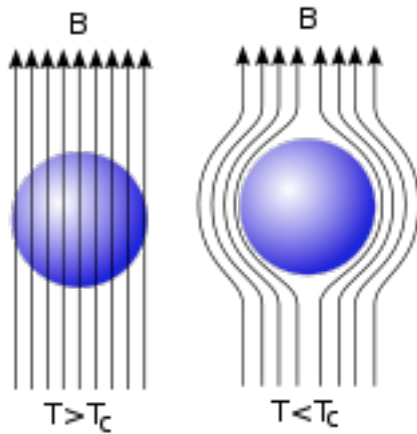
Efekt Meissnera i nadprzewodnictwo.

Ładunek elektryczny można ekranować metalową osłoną - oznacza to efektywnie skrócenie zasięgu oddziaływań - bo nie wychodzi poza osłonę!

Krótki zasięg - duża masa nośnika?

Pola magnetycznego nie da się osłonić przewodnikiem - chyba, że mamy nadprzewodnik. Wtedy prąd nadprzewodzący płynący po powierzchni przewodnika tworzy pole magnetyczne które kasuje zewnętrzne pole w środku - efekt "wypychania" pola magnetycznego z przewodnika

To oznacza, że w pewnych warunkach siły elektromagnetyczne są krótkozasięgowe! - efektywna masa fotonu!!



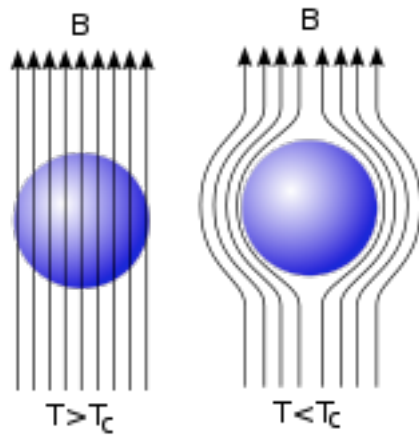
Efekt Meissnera i nadprzewodnictwo.

Ładunek elektryczny można ekranować metalową osłoną - oznacza to efektywnie skrócenie zasięgu oddziaływań - bo nie wychodzi poza osłonę!

Krótki zasięg - duża masa nośnika?

Pola magnetycznego nie da się osłonić przewodnikiem - chyba, że mamy nadprzewodnik. Wtedy prąd nadprzewodzący płynący po powierzchni przewodnika tworzy pole magnetyczne które kasuje zewnętrzne pole w środku - efekt "wypychania" pola magnetycznego z przewodnika

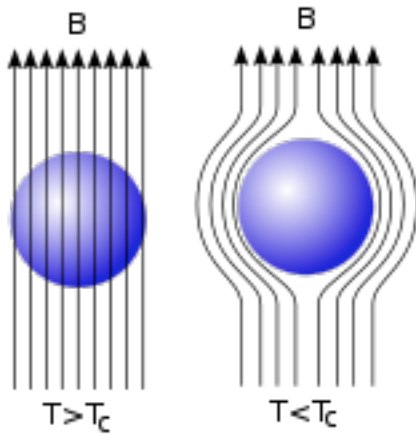
To oznacza, że w pewnych warunkach siły elektromagnetyczne są krótkozasięgowe! - efektywna masa fotonu!!



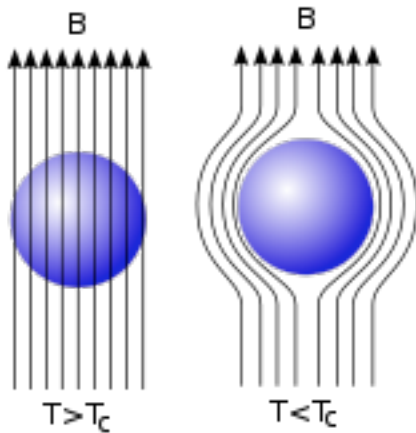
nadprzewodnictwo to tzw pary Coopera (elektronów) - czyli efektywny bozon - taki bozon Higgsa - nadaje efektywną masę fotonowi

Nadawanie masy to nadprzewodnictwo próżni wypełnionej polem Higgsa o naruszonej spontanicznie symetrii (niezerowa wartość próżniowa - meksykański kapelusz)

Oddziaływanie cząstek z polem Higgsa które wypełnia próżnię i ma niezerową wartość próżniową (SNS) działa jak efekt Meissnera w nadprzewodniku - ogranicza zasięg oddziaływań a to obserwujemy jako pojawienie się masywnych cząstek - np bozonów W

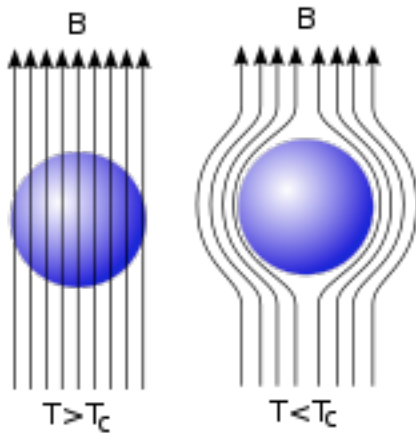


Oddziaływanie cząstek z polem Higgsa które wypełnia próżnię i ma niezerową wartość próżniową (SNS) działa jak efekt Meissnera w nadprzewodniku - ogranicza zasięg oddziaływań a to obserwujemy jako pojawienie się masywnych cząstek - np bozonów W



Oddziaływanie cząstek z polem Higgsa które wypełnia próżnię i ma niezerową wartość próżniową (SNS) działa jak efekt Meissnera w nadprzewodniku - ogranicza zasięg oddziaływań a to obserwujemy jako pojawienie się masywnych cząstek - np bozonów W

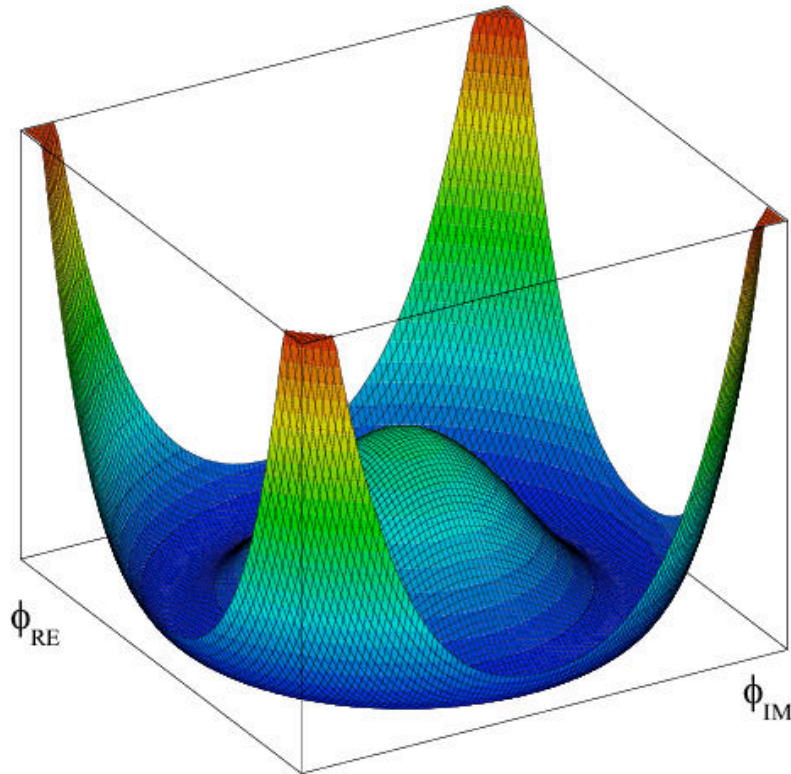
Jeszcze inaczej - Pole Higgsa działa jak tarcie (poprzez oddziaływania) i spowalnia cząstki - ale nietrywialnie bo cząstki bezmasowej nie da się “spowolnić” - chyba, że zamieniając jej energię kinetyczną na masę To właśnie robi pole Higgsa po spontanicznym naruszeniu symetrii.



Oddziaływanie cząstek z polem Higgsa które wypełnia próżnię i ma niezerową wartość próżniową (SNS) działa jak efekt Meissnera w nadprzewodniku - ogranicza zasięg oddziaływań a to obserwujemy jako pojawienie się masywnych cząstek - np bozonów W

A do czego potrzebna jest symetria cechowania, którą zresztą bozon Higgsa narusza spontanicznie?

Jeszcze inaczej - Pole Higgsa działa jak tarcie (poprzez oddziaływania) i spowalnia cząstki - ale nietrywialnie bo cząstki bezmasowej nie da się “spowolnić” - chyba, że zamieniając jej energię kinetyczną na masę To właśnie robi pole Higgsa po spontanicznym naruszeniu symetrii.



Przy naruszeniu symetrii poprzez stan próżni pojawia się problem: przejście od jednej konfiguracji próżni do drugiej wymaga bardzo mało energii - tzw płaskie kierunki.

zamiast drgań (czyli cząstek) mamy uciekanie wzdłuż płaskich kierunków co oznacza pojawienie się bezmasowych cząstek - bozonów Goldstona, których nie obserwujemy!!

Ale dzięki symetrii cechowania mamy swobodę teorii i możemy pozbyć się tych niechcianych cząstek !!

Liczenie do 2, 3, 4, 11 i 12

Mamy 4 bezmasowe “fotony” na początku czyli $4 \cdot 2 = 8$ spinowe stopnie swobody

Po naruszeniu symetrii i dzięki mechanizmowi Higgsa obserwujemy 3 masywne bozony W^+ i Z^0 oraz prawdziwy bezmasowy foton: $1 \cdot 2 + 3 \cdot 3 = 11$

Nie zgadza się liczba stopni swobody?

Potrzebujemy 4 bozonów Higgsa, 3 są tymi “płaskimi” kierunkami a jeden narusza symetrię spontanicznie. Płaskich kierunków nie lubimy (bo bezmasowe cząstki, których nie widać), więc je usuwamy bo mamy swobodę cechowania.

Ale nic w przyrodzie nie ginie - one nie są widoczne jako cząstki ale jako 3-cie polaryzacje masywnych bozonów!

Teraz się zgadza: $4 + 4 \cdot 2 = 12$ przed a po: $1 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 1 = 12$



\downarrow \downarrow
H + “fotony”

\downarrow \downarrow \downarrow
foton + W/Z + H

Liczenie do 2, 3, 4, 11 i 12

Mamy 4 bezmasowe “fotony” na początku czyli $4 \cdot 2 = 8$ spinowe stopnie swobody

Lekcja nr 10.

Masy cząstek nadaje oddziaływanie z polem bozonów Higgsa.

Masywne bozony W i Z absorbują 3 bezmasowe cząstki Higgsa jako swój trzeci stan spinowy. Czwarty bozon Higgsa staje się masywny.

W wyniku mamy masywne W i Z, bezmasowy foton i jedną, masywną cząstkę Higgsa, której wszyscy szukają

symetrię spontanicznie. Praskich kierunkow nie lubimy (bo bezmasowe cząstki, których nie widać), więc je usuwamy bo mamy swobodę cechowania.

Ale nic w przyrodzie nie ginie - one nie są widoczne jako cząstki ale jako 3-cie polaryzacje masywnych bozonów!

Teraz się zgadza: $4 + 4 \cdot 2 = 12$ przed a po: $1 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 1 = 12$

\downarrow \downarrow
H + “fotony”

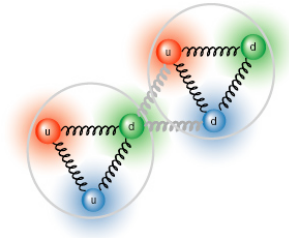
\downarrow \downarrow \downarrow
foton + W/Z + H



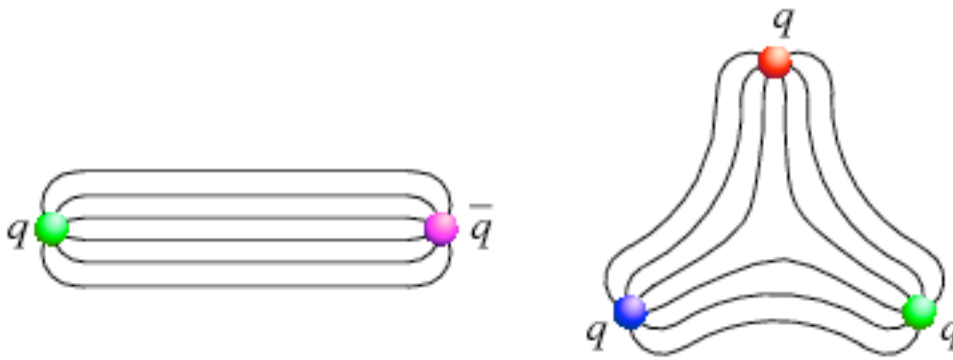
A co z oddziaływaniami silnymi?

Źródłami są **kwarki**, nośnikami **gluony** - odpowiedniki fotonów.

- krótkozasięgowe - duże masy gluonów?
- Okazuje się, że nie !! - gluony są bezmasowe tak jak fotony
- Oddziaływania nie tylko mają ograniczony zasięg ale w dodatku kwarków nie można wydzielić z obserwowanych hadronów - “Uwięzienie kwarków”



deuteron

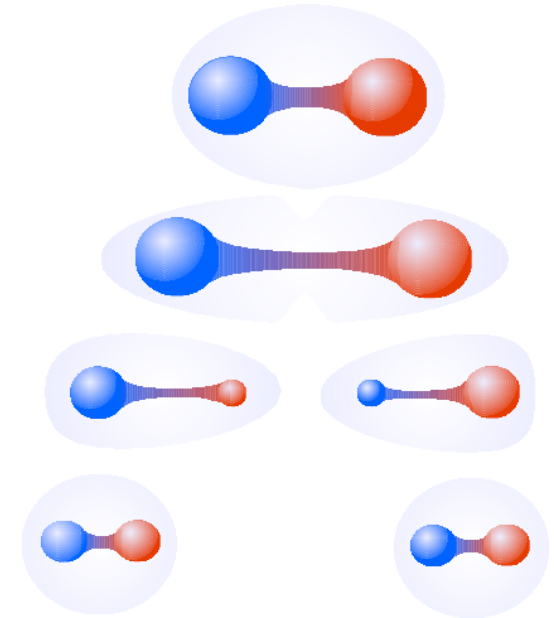
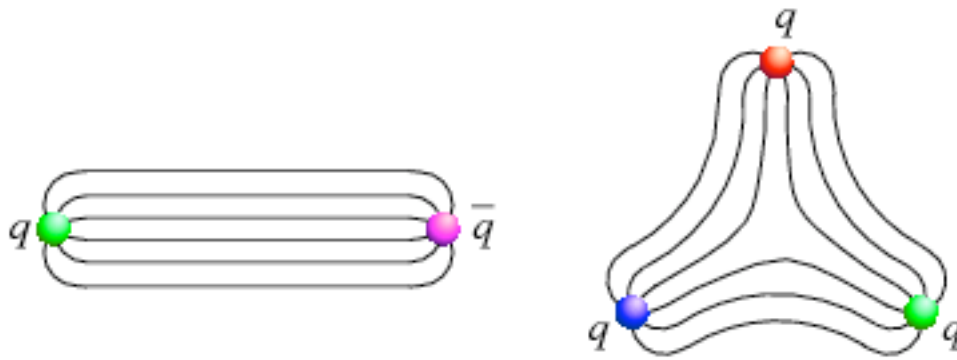


Skąd wiadomo o kolorze?

Δ^{++} - cząstka która musi być zbudowana z 3 kwarków “up” w tym samym stanie spinowym $+1/2$ - naruszałoby to zakaz Pauliego

Koncept “koloru” rozwiązuje problem

Są też inne potwierdzenia “koloru” mimo, że koloru nie da się zobaczyć tak jak i kwarków i gluonów.



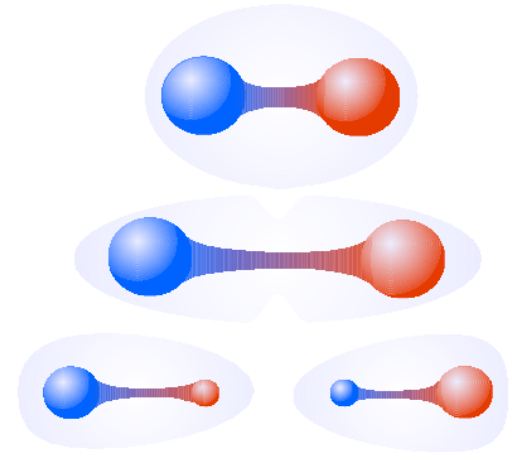
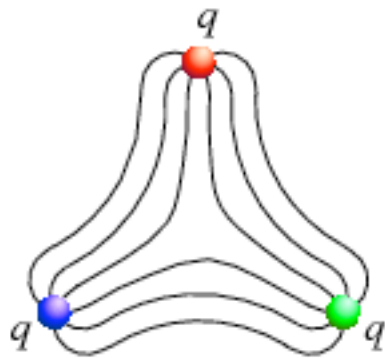
$$E=mc^2$$

Skąd wiadomo o kolorze?

Δ^{++} - cząstka która musi być zbudowana z 3 kwarków "up" w tym samym stanie spinowym $+1/2$ - naruszałoby to zakaz Pauliego

Koncept "koloru" rozwiązuje problem

Są też inne potwierdzenia "koloru" mimo, że koloru nie da się zobaczyć tak jak i kwarków i gluonów.



Lekcja nr 11.
Kwarki oddziałują silnie wymieniając gluony. Mają 3 ładunki “kolorowe”. Kwarki i gluony pozostają uwięzione w obserwowanych stanach związanych - w hadronach (np w nukleonach) . Niemożność wydzielenia kwarków i gluonów i obserwacji cząstek “kolorowych” jest związana z oddziaływaniem gluonów ze sobą Gdyby zapachów kwarków było kilkanaście a nie 6 to teoria znowu zmieniła by własności i uwięzienia by nie było :-)

Quarks



Forces



Leptons

- Fermiony - leptoni i kwarki tworzą rodziny/generacje
- Znamy 3 generacje leptonów i 3 generacje kwarków
- Nośnikami oddziaływań są bozony - foton, W i Z oraz 8 gluonów
- Masy bozonom i fermionom nadawane są poprzez spontaniczne naruszenie symetrii w sektorze cząstek Higgsa
- Po całej procedurze (mechanizm Higgsa) w fizycznym widmie cząstek pozostaje jeden skalarny bozon - cząstka Higgsa - brakujący element całej układanki
- Naruszenie symetrii zwierciadlanej obserwowane w oddziaływaniach słabych jest uwzględnione w generacjach - dublety np. e i ν_e

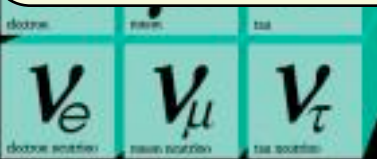
Quarks

- Fermiony - leptony i kwarki tworzą rodziny/generacje
- Znamy 3 generacje leptonów i 3 generacje kwarków

Lekcja nr 12.

Model Standardowy to teoria która unifikuje oddziaływania słabe i elektromagnetyczne. Kluczową rolę pełni tu cząstka Higgsa.

Jej masa nie jest przewidywana przez teorię. Mamy nadzieję, że zostanie odkryta przy wyższych energiach akceleratorów czyli np w LHC. To ostatni, brakujący element modelu standardowego.



Leptons

- pozostaje jeden skalarny bozon - cząstka Higgsa - brakujący element całej układanki
- Naruszenie symetrii zwierciadlanej obserwowane w oddziaływaniach słabych jest uwzględnione w generacjach - dublety np. e i ν_e

1. Nie widać cząstki Higgsa!!

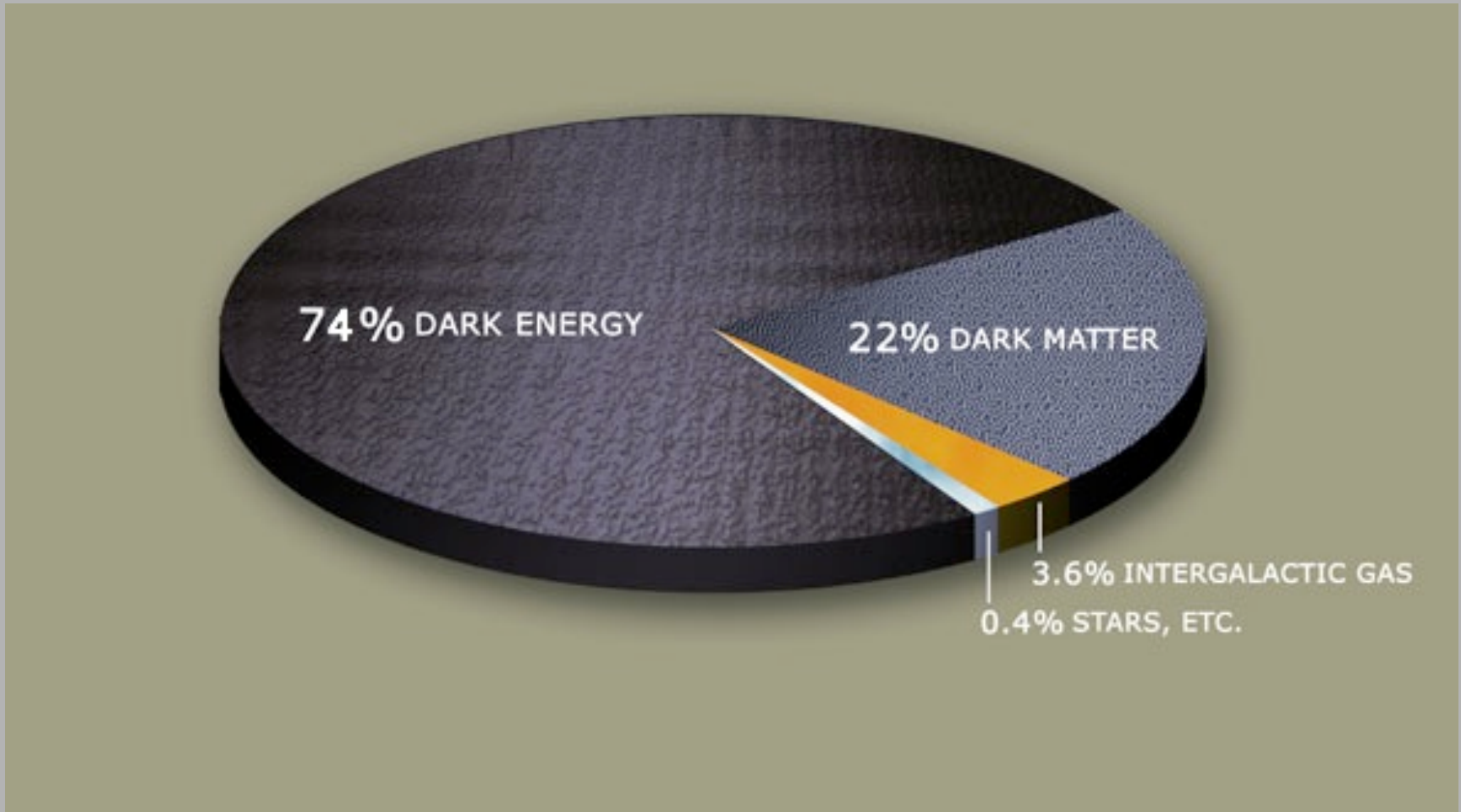
Lista skarg i zażaleń do Modelu Standardowego:

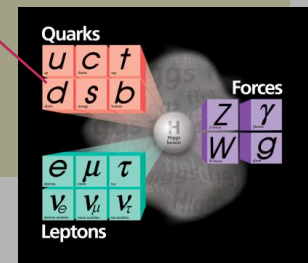
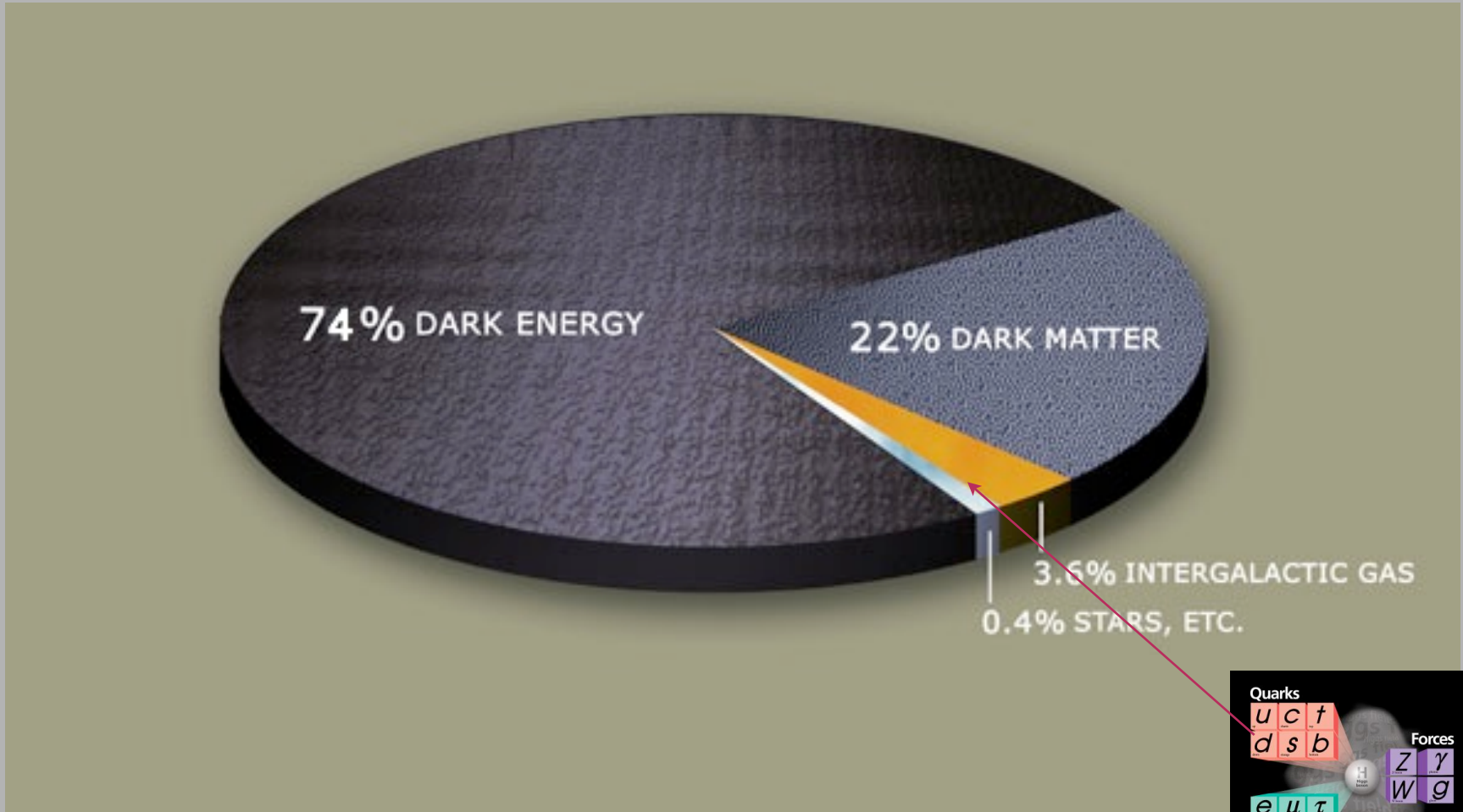
- Cząstki MS opisują zaledwie kilka procent materii we Wszechświecie
- Brakuje **pełnej unifikacji oddziaływań** - MS oparty jest na dwóch teoriach: Elektrosłabej - zunifikowanej teorii oddziaływań EM i słabych oraz na teorii oddziaływań silnych opartej na kolorowych kwarkach.
- **Nie ma grawitacji**
- Wiemy jak się pojawiają masy w MS **ale nie wiemy dlaczego są takie, jakie są i dlaczego się od siebie tak różnią**
- Nie wiemy **dlaczego są trzy rodziny** - generacje fermionów
- W MS masy neutrin są równe zero - ale wiemy z doświadczeń z neutrinami, że neutrina mają małe masy.
- Nie rozumiemy **dlaczego mamy więcej materii niż antymaterii** w obserwowanym Wszechświecie
- Obserwacje kosmologiczne silnie ograniczają teorię cząstek - trzeba bardzo precyzyjnie dopasować parametry we wczesnym stadium rozwoju Wszechświata aby wyjaśnić obserwowane obecnie struktury
- **Problem tzw Hierarchii**
- **Dlaczego zachowana jest liczba leptonowa i barionowa?**
- **Problem naruszenia symetrii PC - zwierciadlanej i ładunkowej razem**

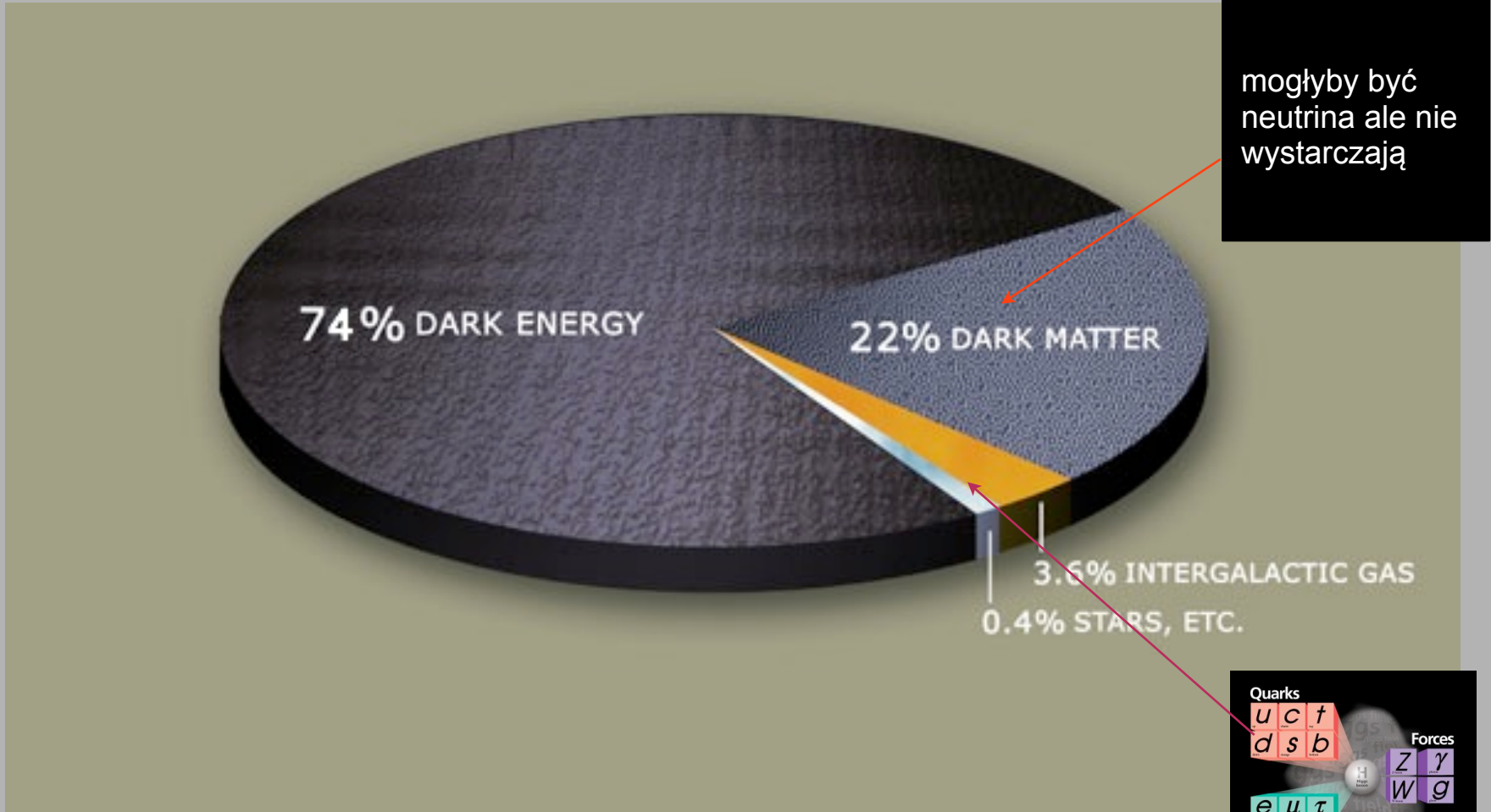
Lista skarg i zażaleń do Modelu Standardowego:

- Cząstki MS opisują zaledwie kilka procent materii we Wszechświecie
- Brakuje **pełnej unifikacji oddziaływań** - MS oparty jest na dwóch teoriach:
Elektrosłaby oparty na teorii kalibrowej SU(2)_C × U(1)_Y
Ciężka oparty na teorii kalibrowej SU(3)_C
- Nie ma
- Wiemy
- **jakie są**
- Nie wie
- W MS n
- neutrino
- Nie rozu
- obserwowanym w wszechświecie
- Obserwacje kosmologiczne silnie ograniczają teorię cząstek - trzeba bardzo precyzyjnie dopasować parametry we wczesnym stadium rozwoju Wszechświata aby wyjaśnić obserwowane obecnie struktury
- Problem tzw Hierarchii
- Dlaczego zachowana jest liczba leptonowa i barionowa?
- Problem naruszenia symetrii PC - zwierciadlanej i ładunkowej razem

A mimo to
Model Standardowy to
najlepiej sprawdzona teoria
fizyczna !!

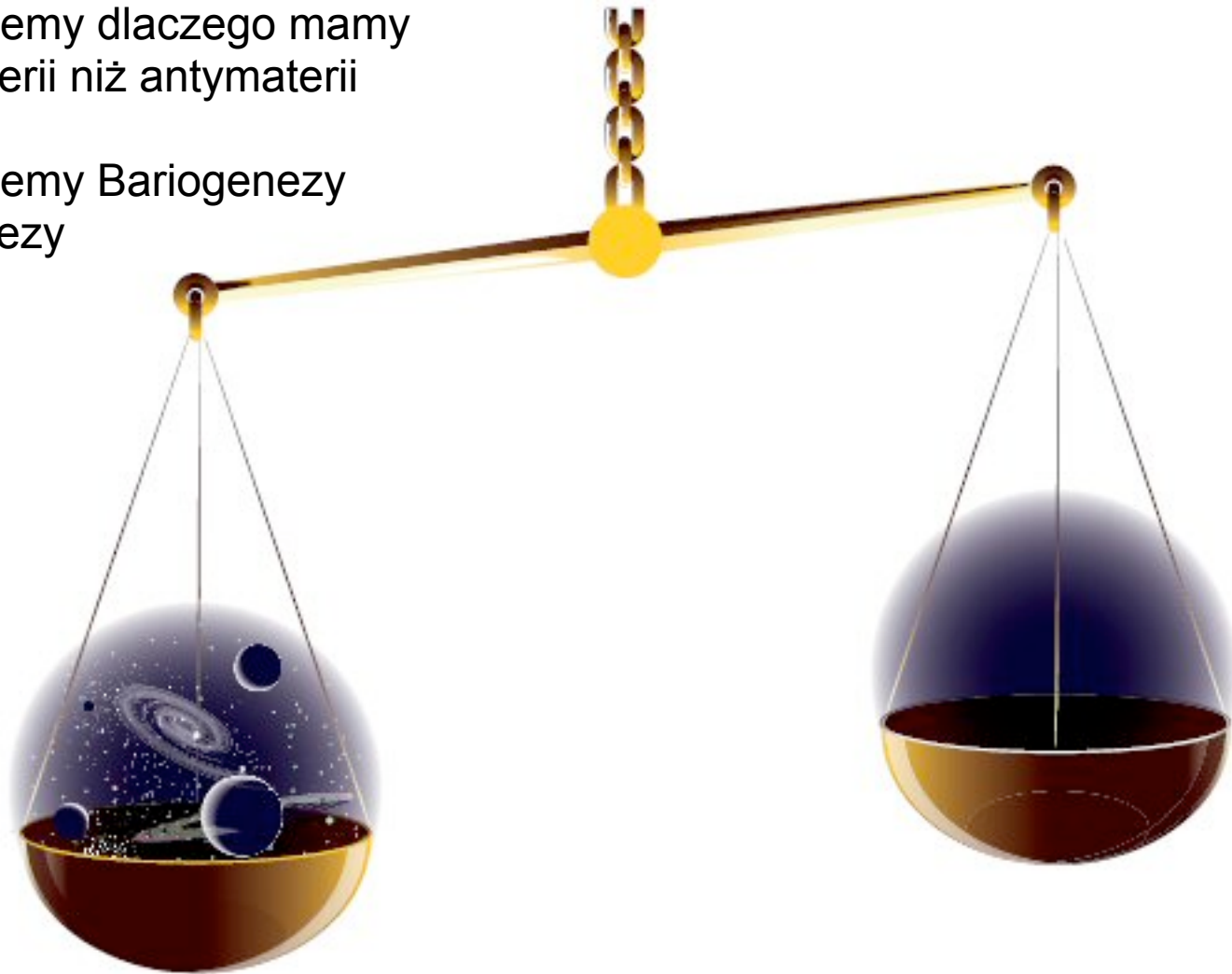






Nie rozumiemy dlaczego mamy
więcej materii niż antymaterii

Nie rozumiemy Bariogenezy
i Leptogenezy



neutrina

Neutrina mają tylko jeden stan spinowy - dla bezmasowych fermionów to jest ok.

Ale gdy neutrina mają masę to pojawia się pytanie - dlaczego tylko lewoskrętne neutrino oddziałują w ramach MS a nie widać “prawych” neutrin?

Prawoskrętne neutrino musiałyby być dużo cięższe od lewoskrętnych - bo ich nie widać przy obecnie dostępnych energiach a więc symetria musiałaby być złamana - potrzebne jest rozszerzenie MS (supersymetria, Wielkie Unifikacje?, modele z większą ilością cząstek Higgsa)

Masa neutrin - Diraca czy Majorany?

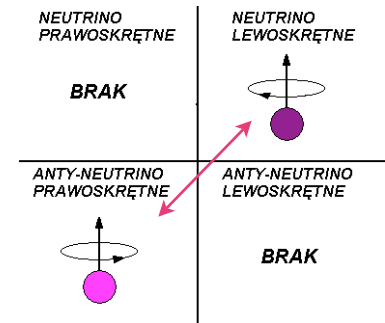
←
neutrino odróżnialne od anty-neutrino

neutrina

Neutrina mają tylko jeden stan spinowy - dla bezmasowych fermionów to jest ok.

Ale gdy neutrina mają masę to pojawia się pytanie - dlaczego tylko lewoskrętne neutrina oddziałują w ramach MS a nie widać "prawych" neutrin?

Prawoskrętne neutrina musiałyby być dużo cięższe od lewoskrętnych - bo ich nie widać przy obecnie dostępnych energiach a więc symetria musiałaby być złamana - potrzebne jest rozszerzenia MS (supersymetria, Wielkie Unifikacje?, modele z większą ilością cząstek Higgsa)



Masa neutrin - Diraca czy Majorany?

← neutrino odróżnialne od anty-neutrina

→ neutrino nie odróżnialne od anty-neutrina

NEUTRON



NEUTRON

Podwójny rozpad β - dwa
rozpady β w tym samym czasie
Obserwowane dwa ν Diraca

NEUTRON



NEUTRON

Podwójny rozpad β - dwa
rozpady β w tym samym czasie
Obserwowane dwa ν Diraca

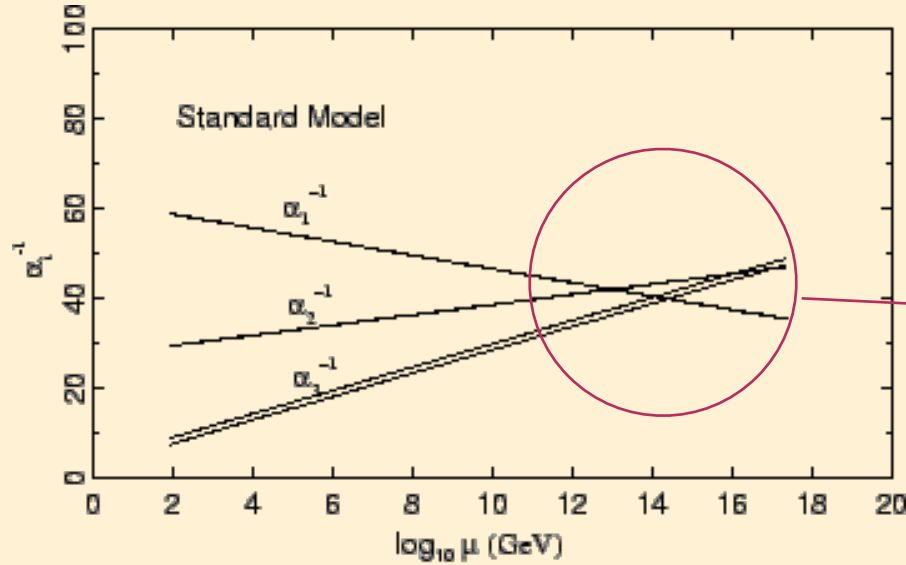
NEUTRON



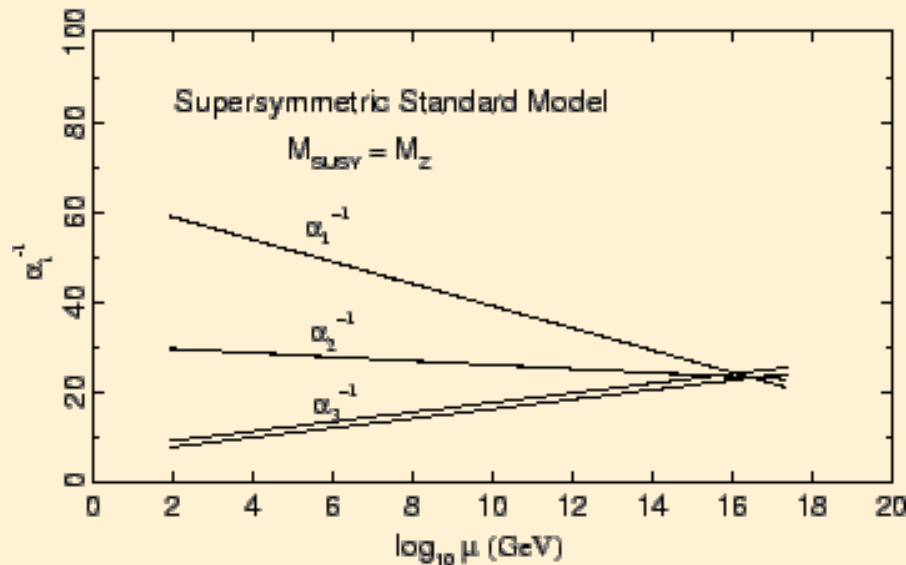
NEUTRON

Podwójny bezneutrinowy rozpad β
Nie ma neutrin - neutrino Majorany

Potrzebne rozszerzenie MS



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**

	spin 0	spin $\frac{1}{2}$	spin 1
(s)leptony	$\begin{pmatrix} \tilde{e}_L \\ \tilde{\nu}_e \\ \tilde{e}_R \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} e_L \\ \nu_{eL} \\ e_R \end{pmatrix}$	
bozony i gaugina		gluina \tilde{g} fotino $\tilde{\gamma}$ zino \tilde{Z} wina \tilde{W}^\pm	gluony g foton γ Z° W^\pm
Higgs(ina)	$h^\circ, H^\circ, A^\circ$ H^\pm	$\tilde{H}_1^\circ, \tilde{H}_2^\circ$ \tilde{H}^\pm	

Supersymmetria: symetria łącząca cząstki o różnych spinach

	spin 0	spin $\frac{1}{2}$	spin 1
(s)leptony	$\begin{pmatrix} \tilde{e}_L \\ \tilde{\nu}_e \\ \tilde{e}_R \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} e_L \\ \nu_{eL} \\ e_R \end{pmatrix}$	
(s)kwarki	$\begin{pmatrix} \tilde{u}_L \\ \tilde{d}_L \\ \tilde{u}_R \\ \tilde{d}_R \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} u_L \\ d_L \\ u_R \\ d_R \end{pmatrix}$	
bozony i gaugina		gluina \tilde{g} fotino $\tilde{\gamma}$ zino \tilde{Z} wina \tilde{W}^\pm	gluony g foton γ Z° W^\pm
Higgs(ina)	$h^\circ, H^\circ, A^\circ \\ H^\pm$	$\tilde{H}_1^\circ, \tilde{H}_2^\circ \\ \tilde{H}^\pm$	

spin 0

spin $\frac{1}{2}$

spin 1

- 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)

Rozwiązuje problem hierarchii i unifikacji !
LHC może potwierdzi istnienie supersymetrii

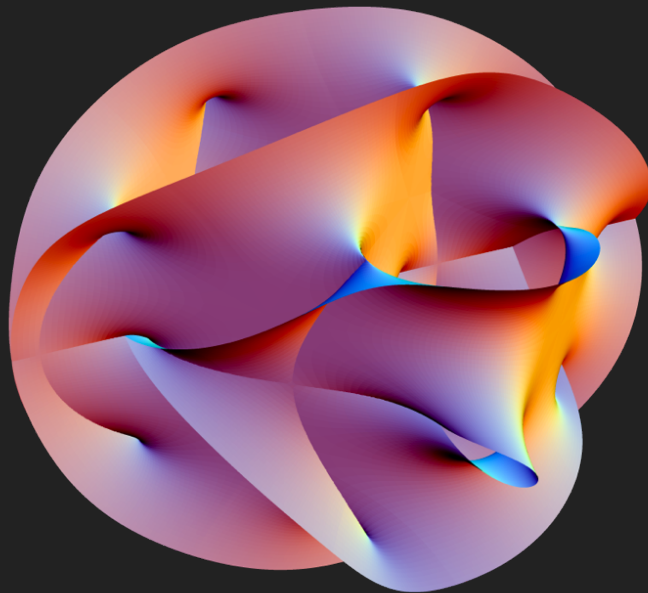
Higgs(ina)

 h^0, H^0, A^0
 H^\pm
 H_1^0, H_2^0
 \tilde{H}^\pm

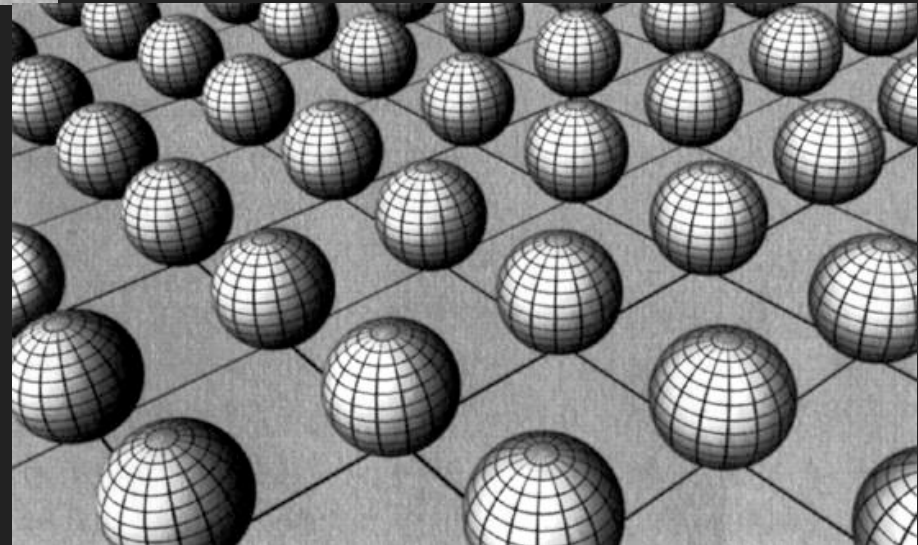
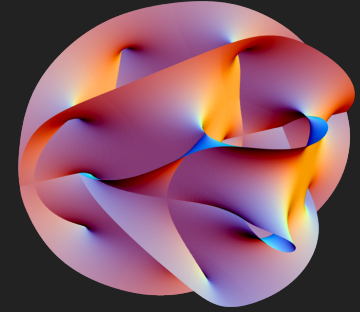
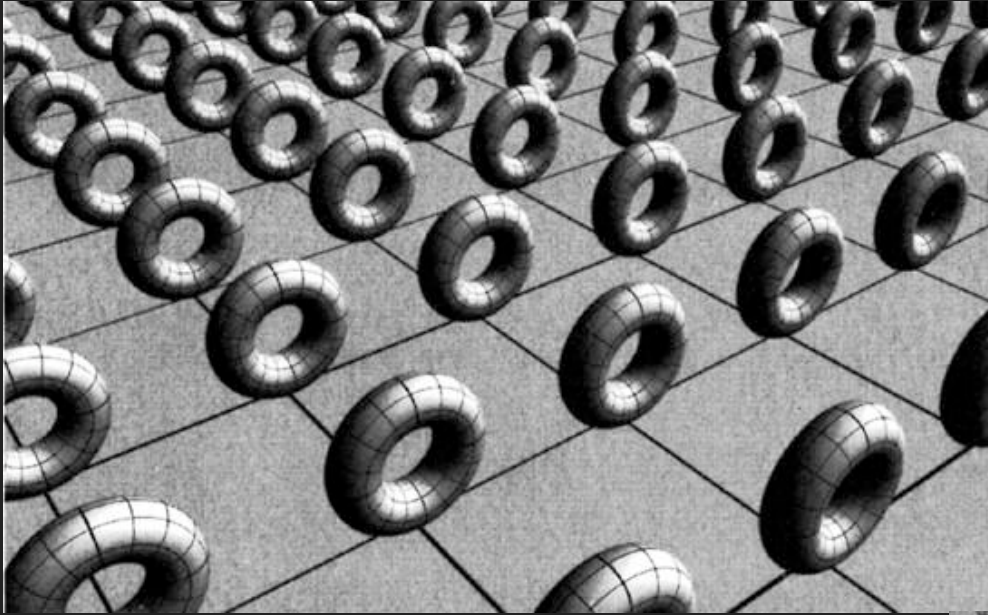
- Teoria strun odrzuca punktowość cząstek - **cząstki to wzbudzenia strun - obiektów rozciągniętych**
- Łączy **grawitację z resztą oddziaływań !!!!**
- Jedyny praktycznie kandydat na tzw Ogólną Teorię Wszystkiego
- Większość teorii strun jest **supersymetryczna** - ogranicza to liczbę wymiarów

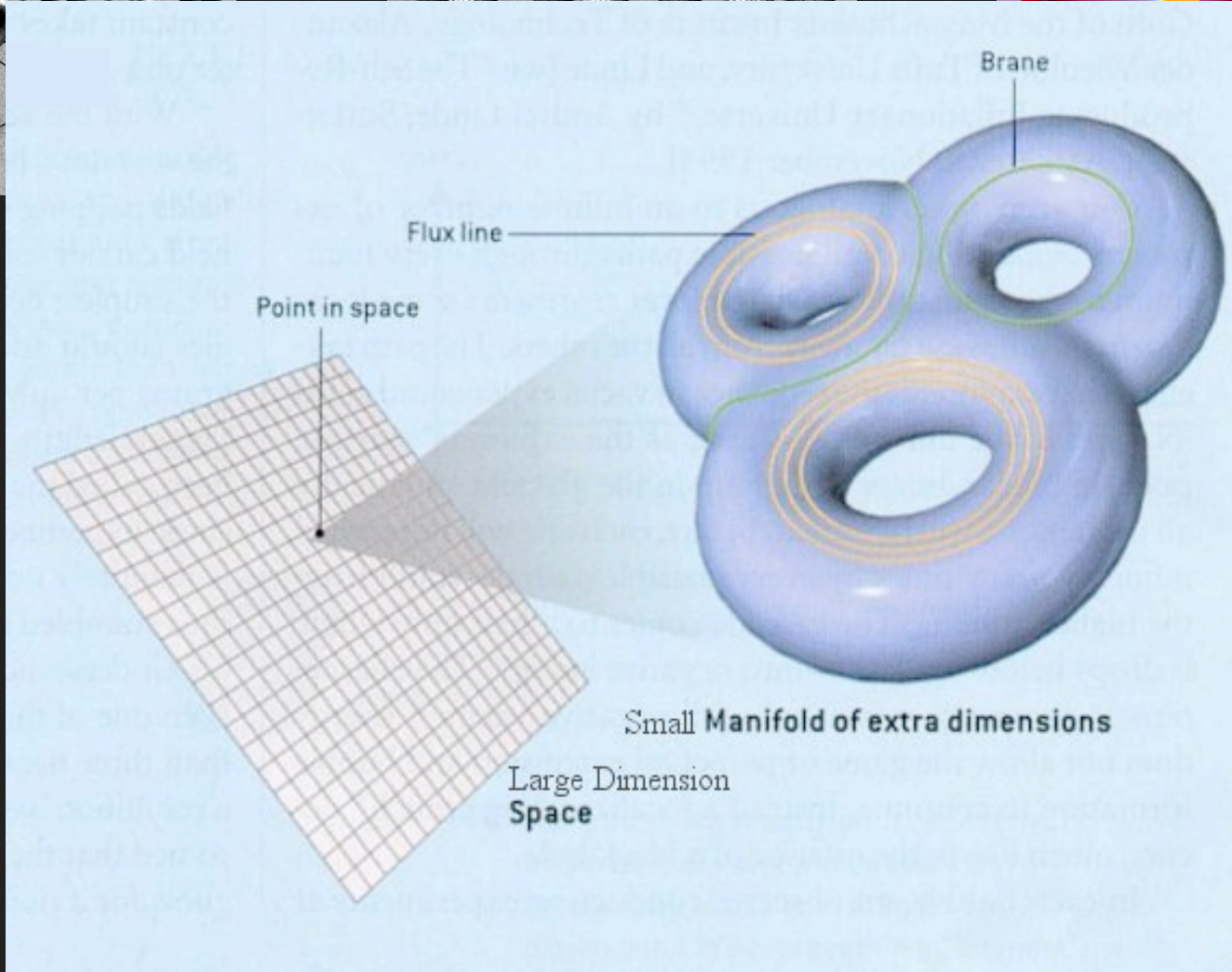
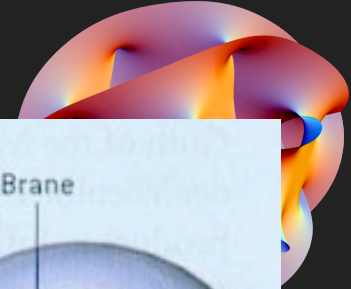
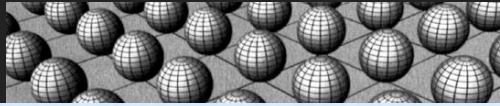
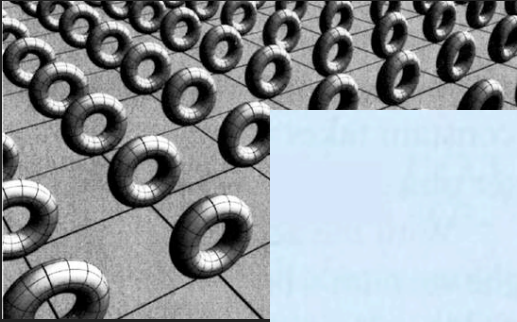
Teoria strun cierpi na nadmiar wymiarów - spójne matematycznie teorie otrzymuje się w 26, 11 lub 10 wymiarach. Są też efektywne teorie w 4 wymiarach

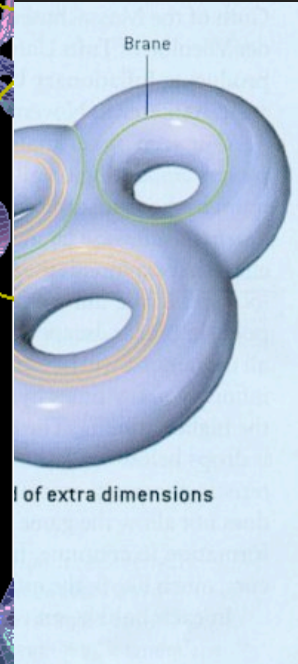
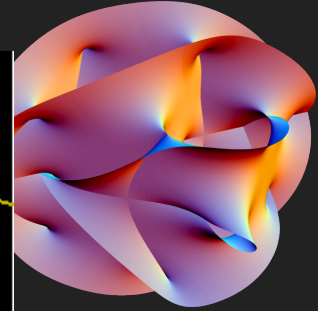
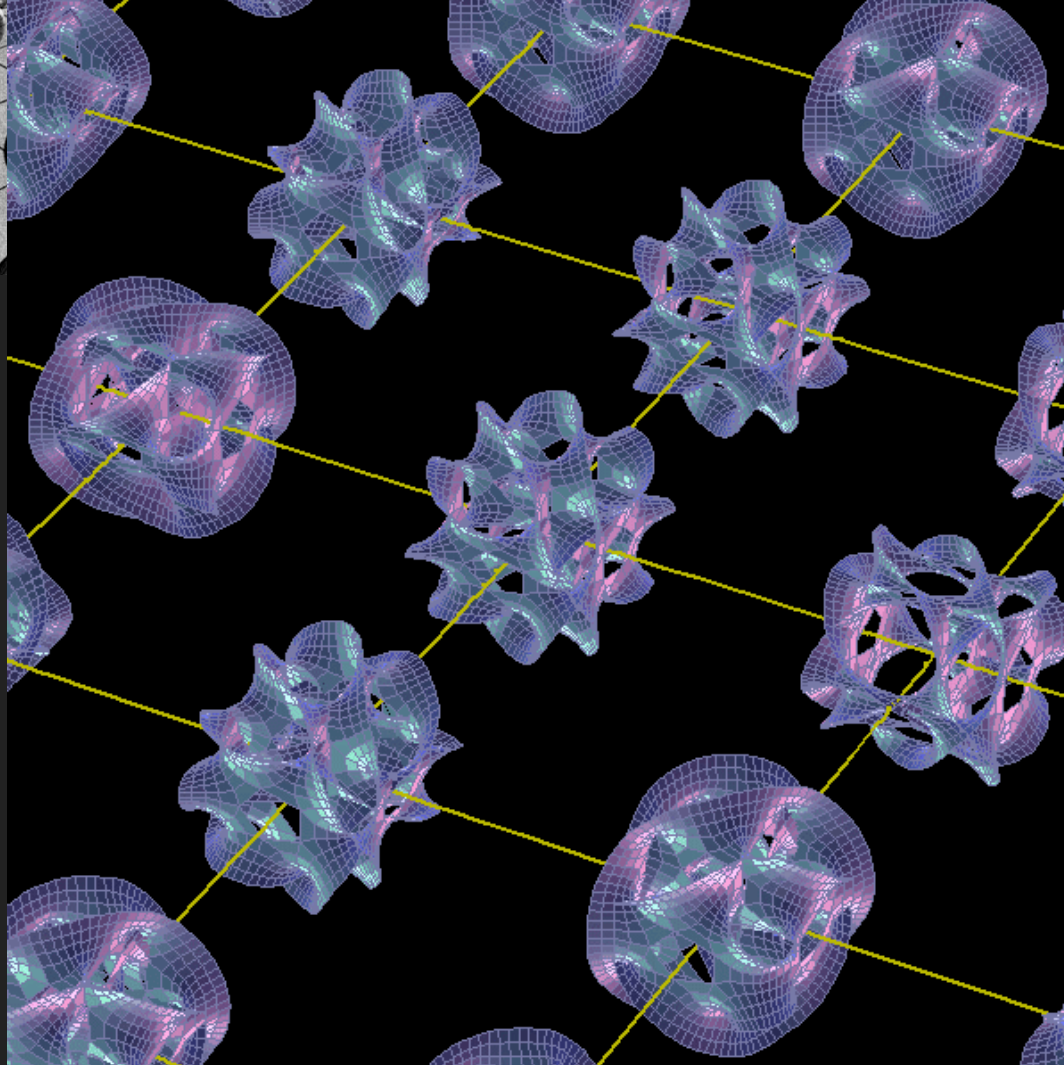
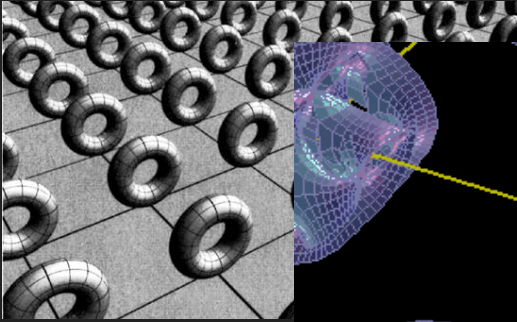
Można wyprowadzić z niej Model Standardowy ale nie ma praktycznej możliwości sprawdzenia doświadczalnego tej teorii - energie potrzebne są gigantyczne (masa Plancka)

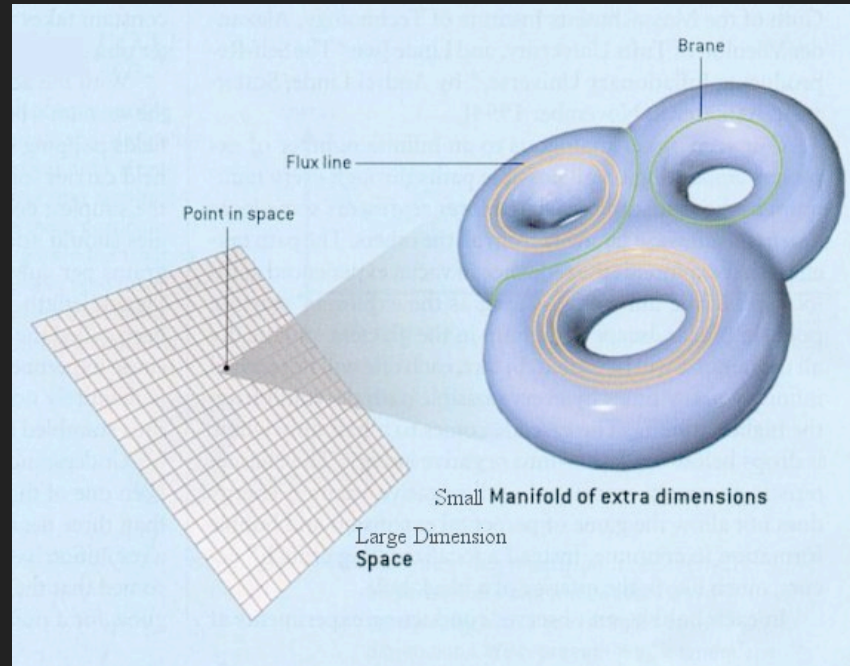
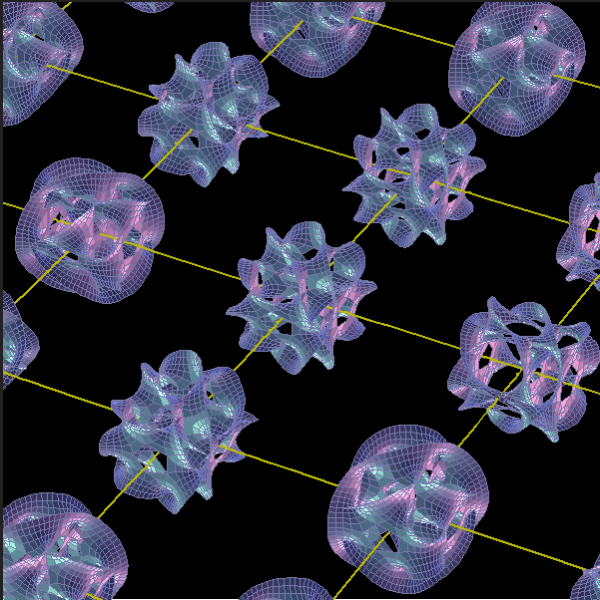
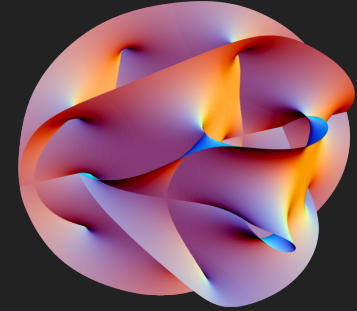
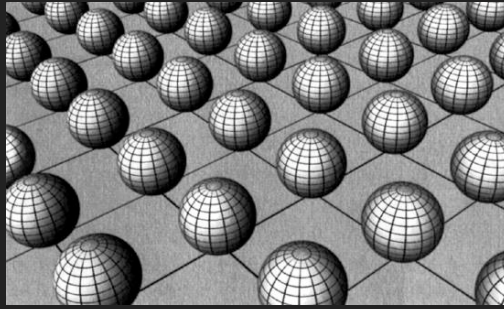
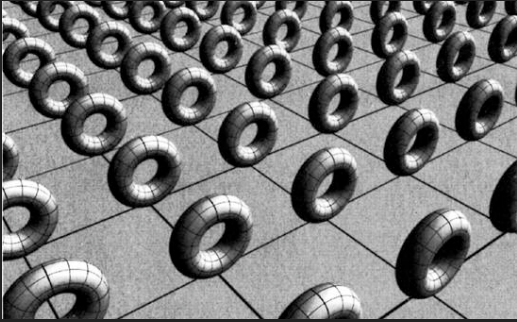


Spojrzenie na wielość wymiarów -
matematyczna struktura Calabi-Yau

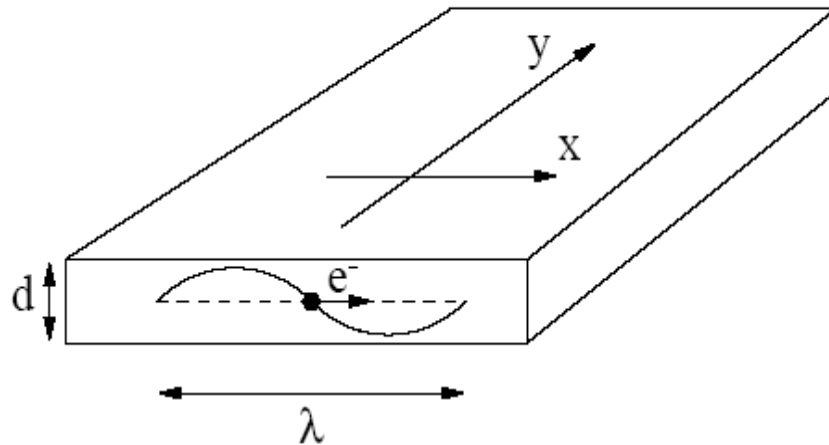








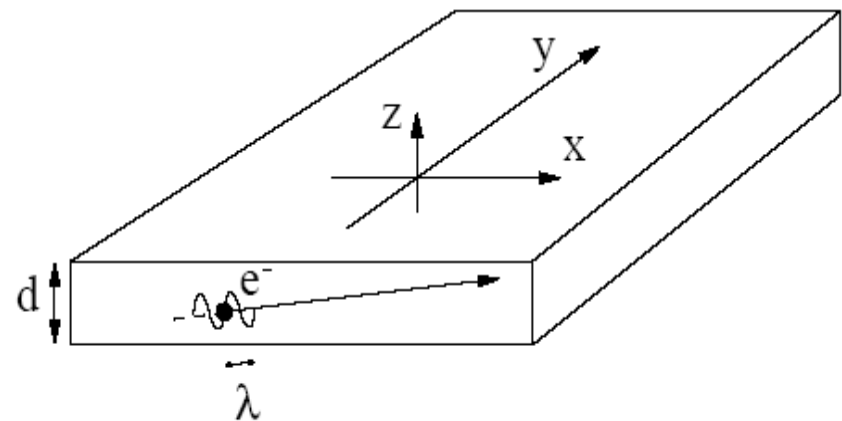
Elektron w bardzo cienkiej warstwie metalu:



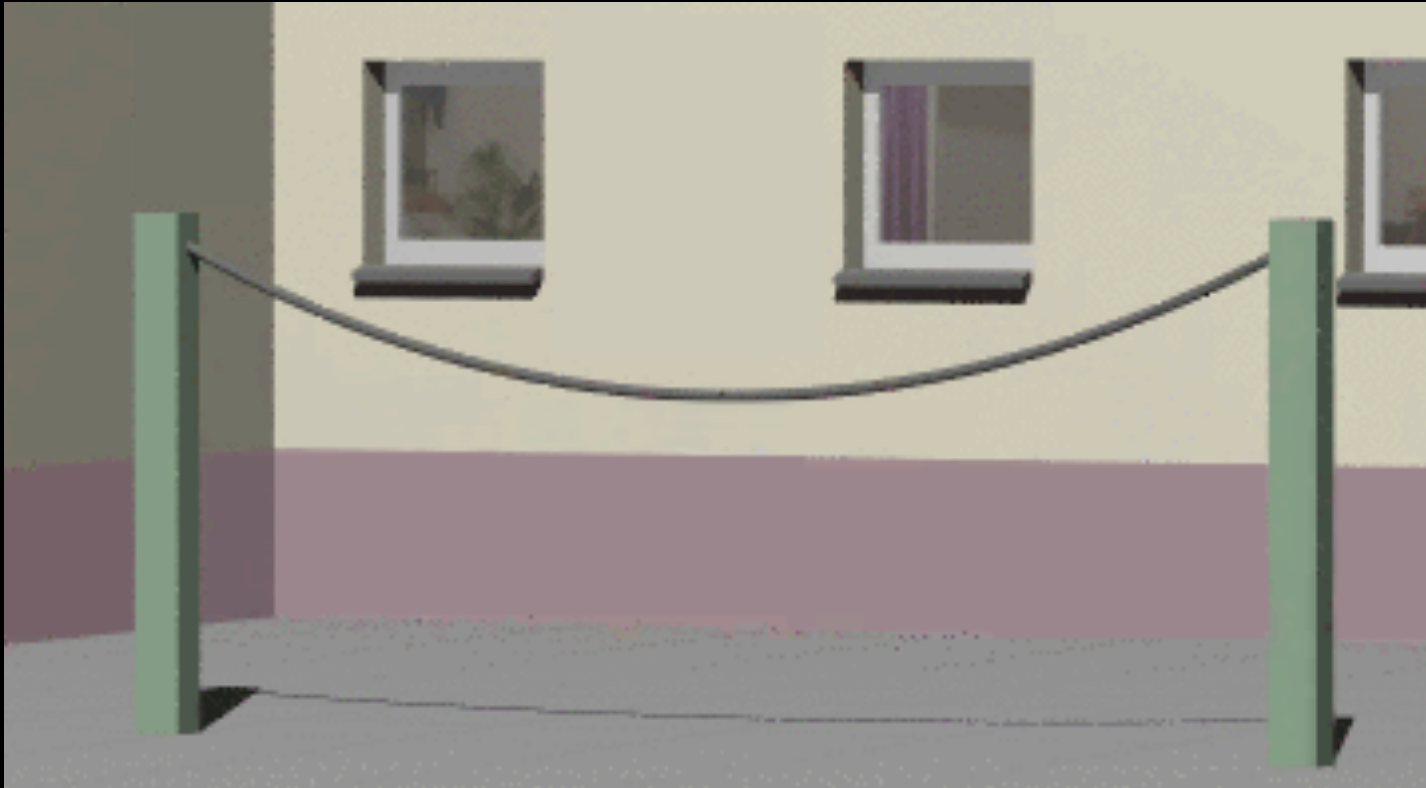
Jeśli długość fali elektronu $\lambda \gg d$
 \Rightarrow ruch dwuwymiarowy.

“Wzbudzenie” w kierunku prostopadłym
nie jest dostępne energetycznie.
(kwantowy efekt Halla).

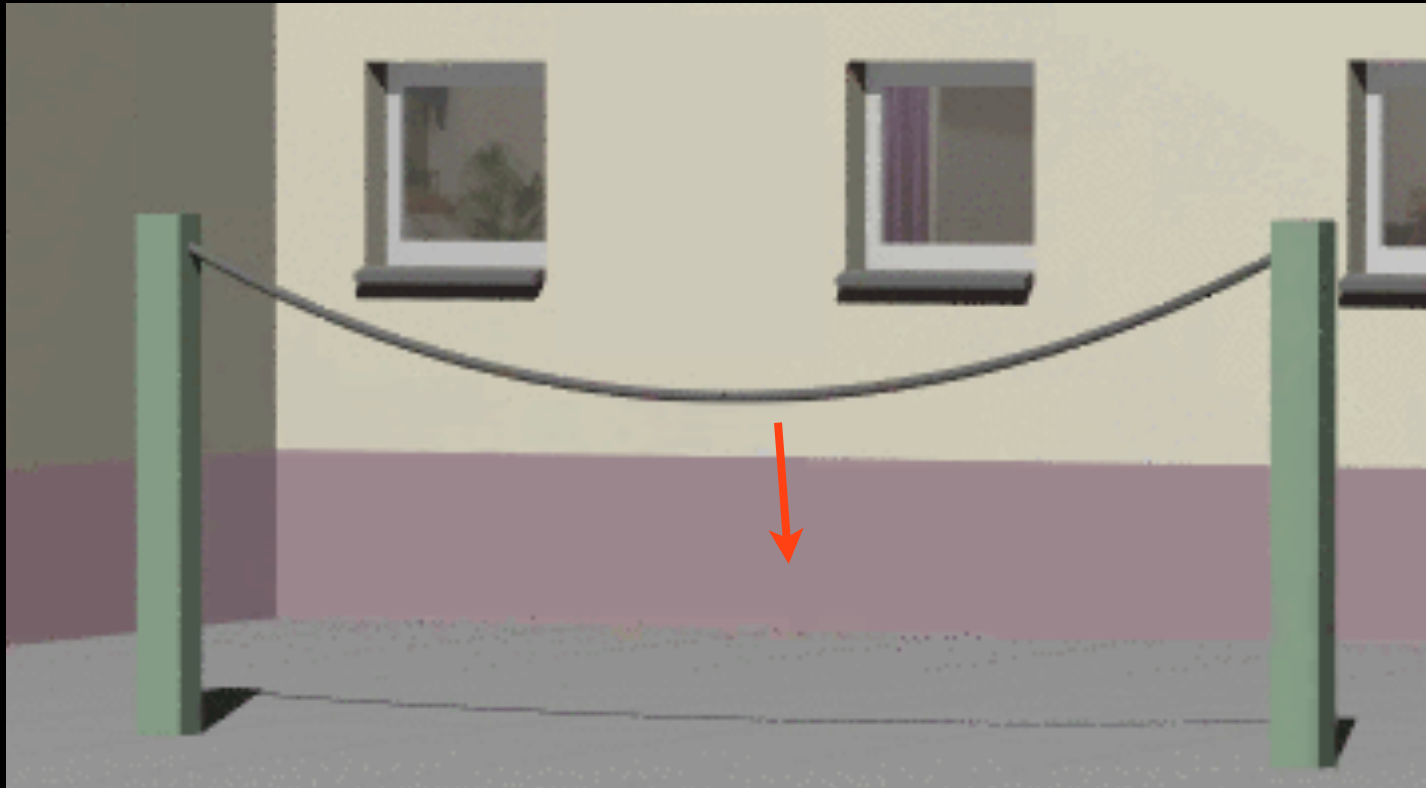
Ale jeśli w tej samej warstwie metalu
znajdzie się wysoko-energetyczny
elektron ($\lambda < d$)



jego ruch musimy opisywać w trzech
wymiarach...



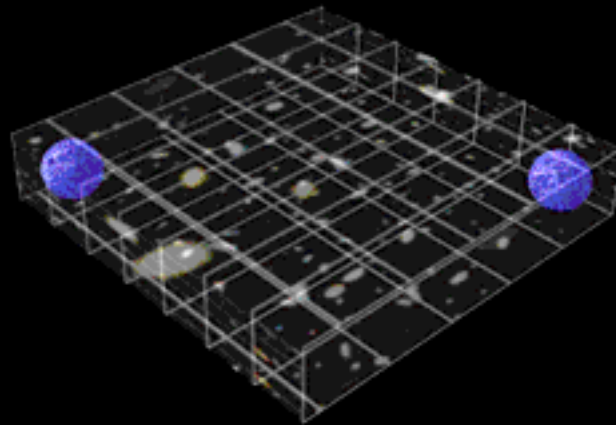
Jak widać ile widzimy wymiarów jest delikatną sprawą

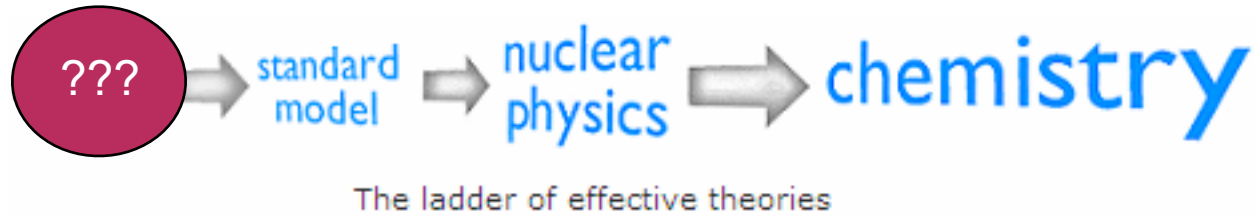


Jak widać ile widzimy wymiarów jest delikatną sprawą

Żyjemy w 4-wymiarowym pudle (tzw “brane”) w którym zbudowaliśmy LHC
Grawitacja “działa” w naszej branie i w ekstra wymiarach
niebieskie kulki to protony które zderzają się w LHC
Obserwujemy brakującą energię wyniesioną poza naszą “branę” przez grawiton

Grawiton







The ladder of effective theories

