

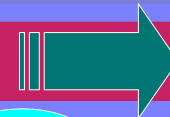


LHC:

po co?

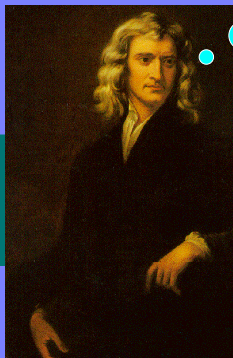
Krzysztof Turzyński
Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski





Historia badania struktury materii

XVII w.: ruch gwiazd i planet, zasady dynamiki, teoria grawitacji, masa jako miara bezwładności...



Newton

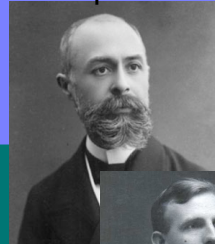
Maxwell



XIX w.: elektryczność i magnetyzm zunifikowane w jedną teorię, oddziaływanie między ładunkami przenoszone przez pola (zaproponowane przez Faradaya)

początek XX w.: odkrycie pomieniania α i β .

Becquerel



Maria i Piotr Curie



Rutherford

Glashow

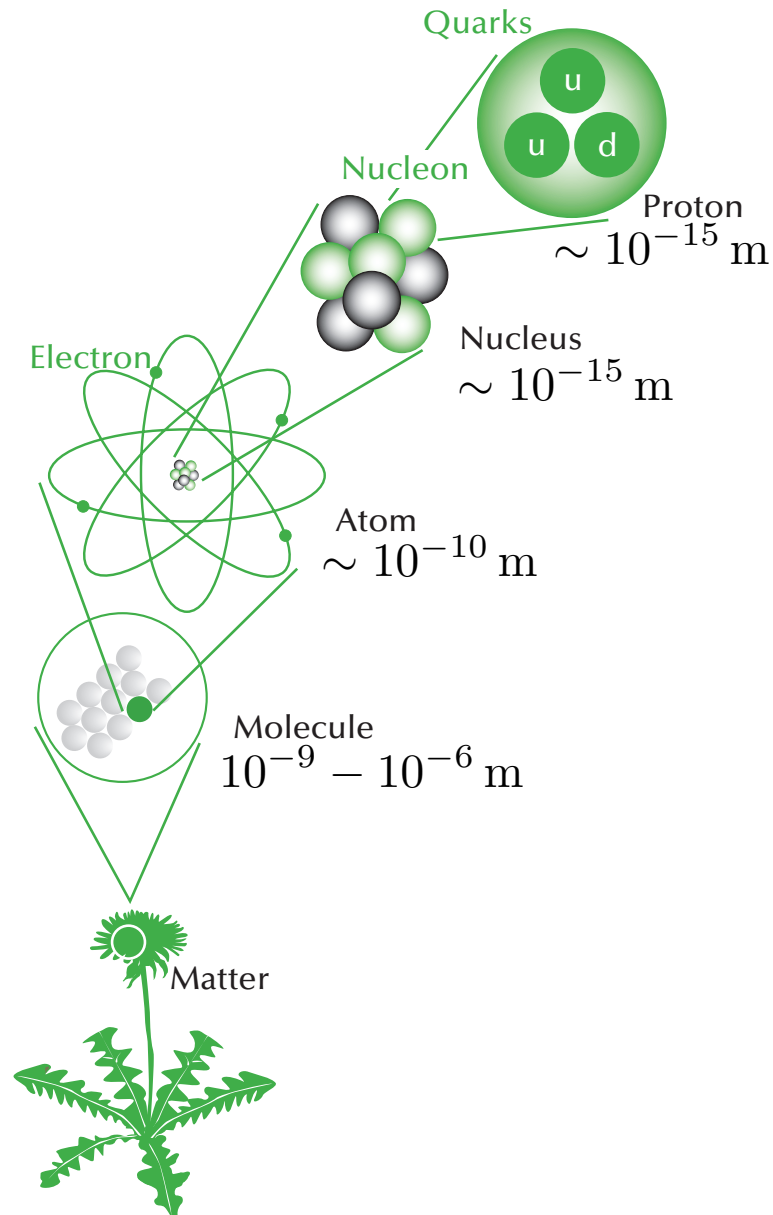
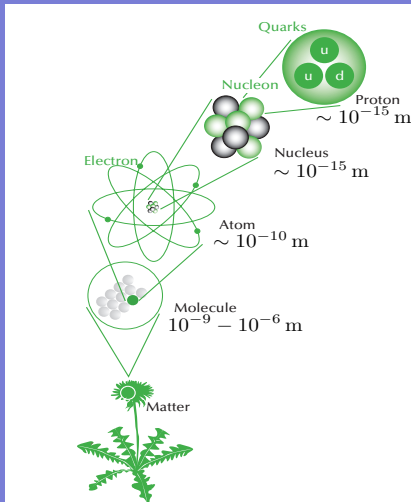
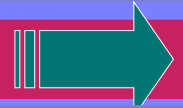


Weinberg

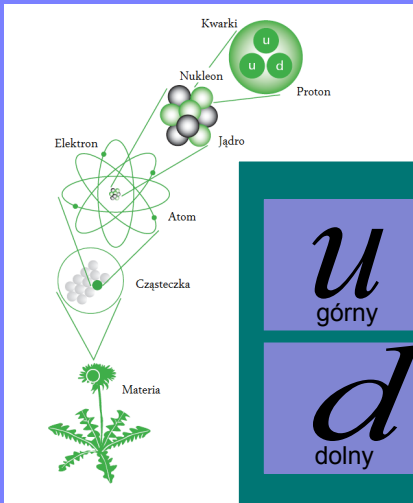
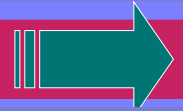


Salam

druga połowa XX w.: oddziaływania elektromagnetyczne oraz silne i słabe (odpowiedzialne za pomienianie α i β) opisane jedną teorią – **Modelem Standardowym**.



Dzisiaj: Model Standardowy



Kwarki

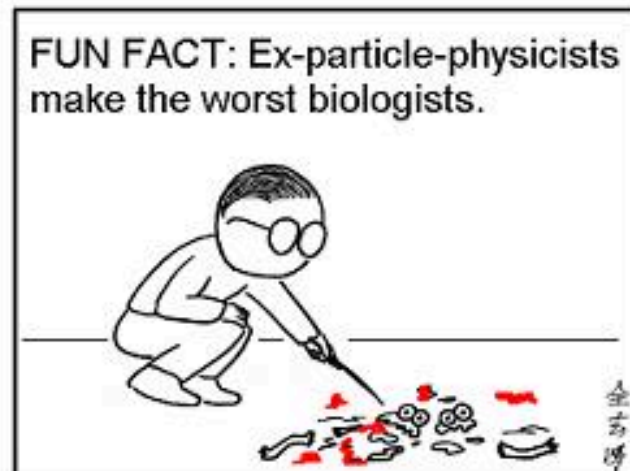
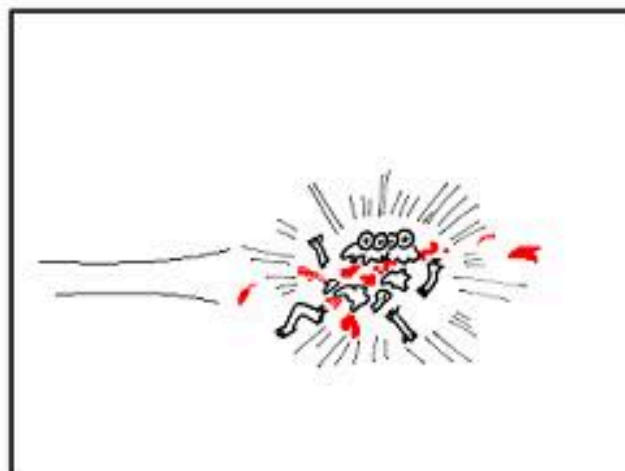
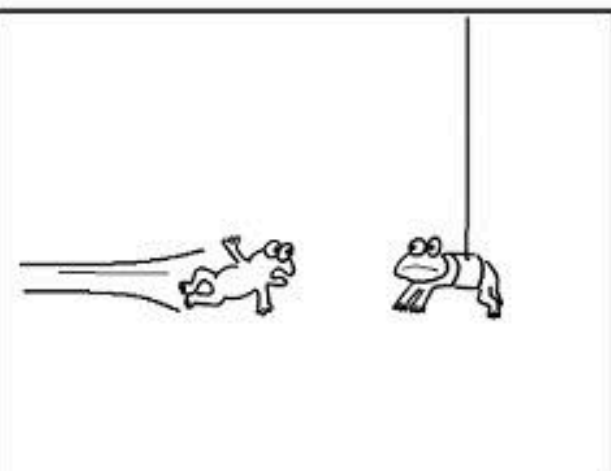
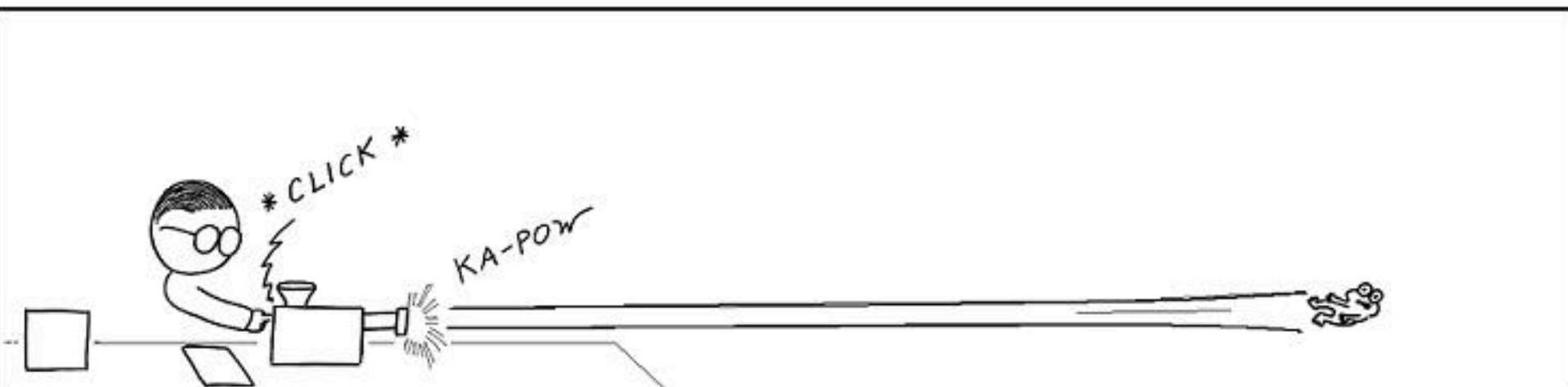
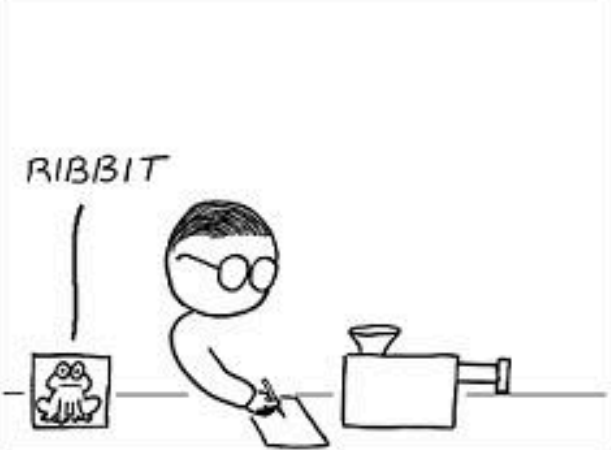
u górny	c powabny	t top
d dolny	s dziwny	b bottom

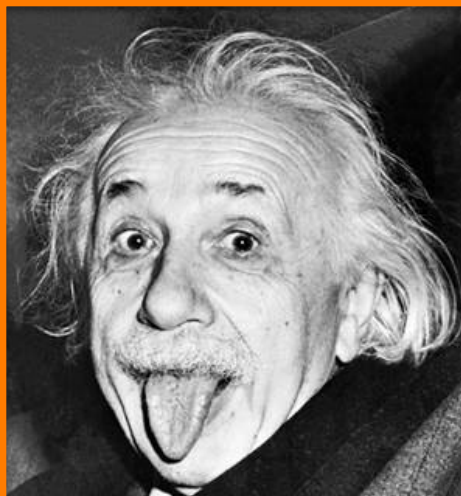
Leptony

neutrino ν_e elektronowe	neutrino ν_μ mionowe	neutrino ν_τ taonowe
e elektron	μ mion	τ taon

Sily

Z bozon Z	foton γ
W bozon W	gluon g





energia związana z **istnieniem** materii

$$E = mc^2$$

(konieczne posiadanie masy)



energia związana z **ruchem**

(lub przemieszczaniem się zaburzeń)



energia związana z **oddziaływaniami** między różnymi składnikami materii

1 eV

Jednostka energii:
energia uzyskiwana
przez elektron
przechodzący przez
różnicę potencjałów
1 V.

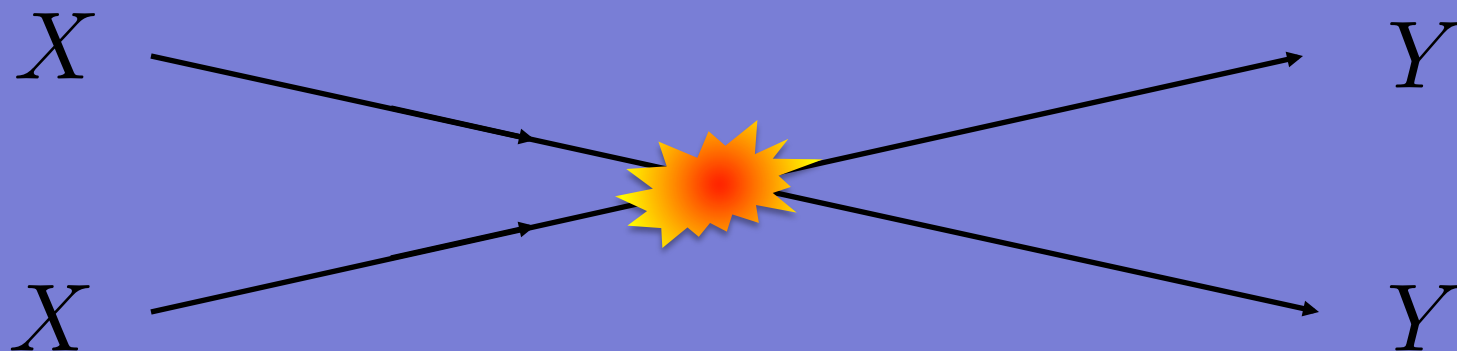
$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

$$1 \text{ GeV}/c^2$$

Jednostka masy

$$m_p = 0,938 \text{ GeV}/c^2$$

$$m_e = 0,000511 \text{ GeV}/c^2$$

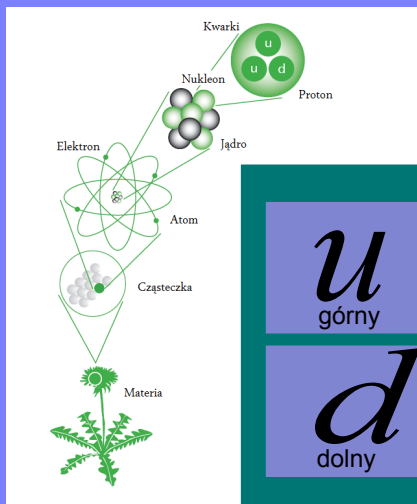
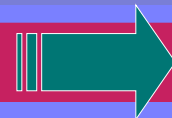


$$2m_X c^2 + E_K^{\text{przed}} = 2m_Y c^2 + E_K^{\text{po}}$$

Zasada zachowania energii

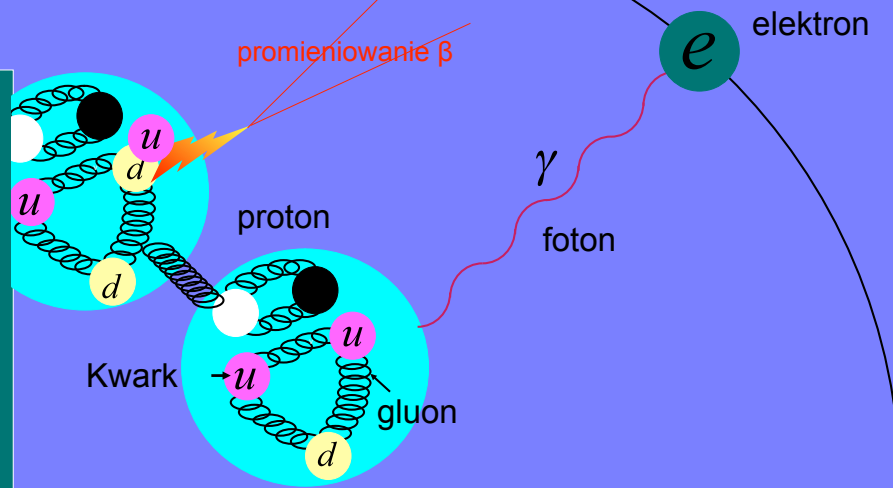
(Zasada zachowania pędu)

Dzisiaj: Model Standardowy

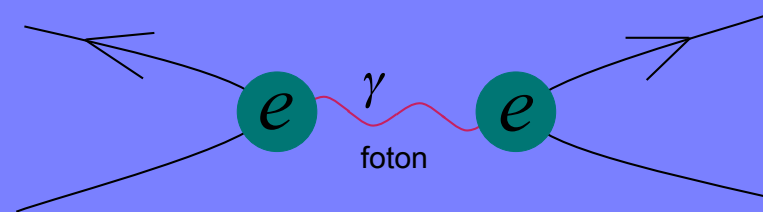


Kwarki		
u górny	c powabny	t top
d dolny	s dziwny	b bottom
Leptony		
neutrino ν_e elektronowe	neutrino ν_μ mionowe	neutrino ν_τ taonowe
e elektron	μ mion	τ taon
Siły		
Z bozon Z	γ foton	
W bozon W	g gluon	

Model Standardowy opisuje oddziaływania i przemiany zachodzące w mikroświecie

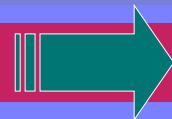


Oddziaływanie elektromagnetyczne

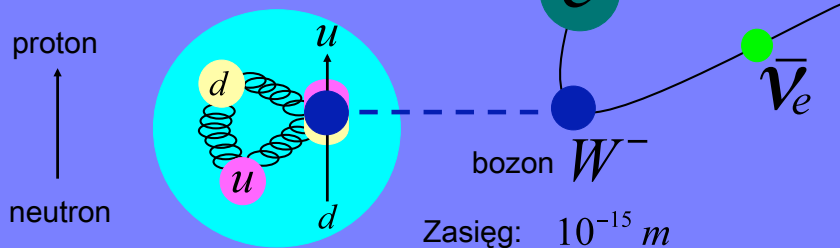


Zasięg: nieskończony

Dzisiaj: Model Standardowy



Oddziaływanie słabe



Bliscy kuzyni

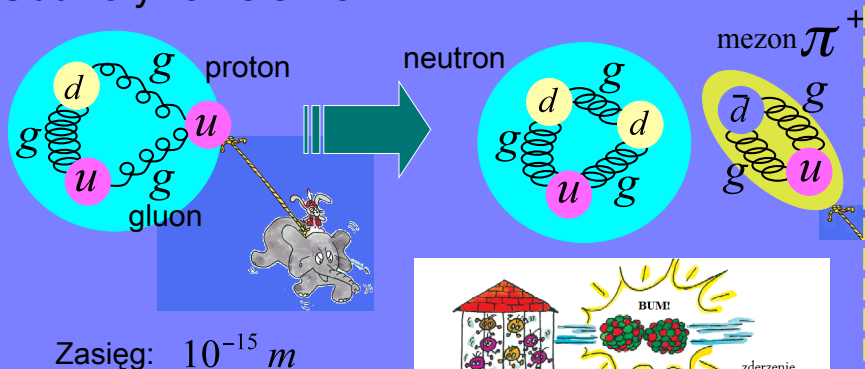


Foton
bezmasowy

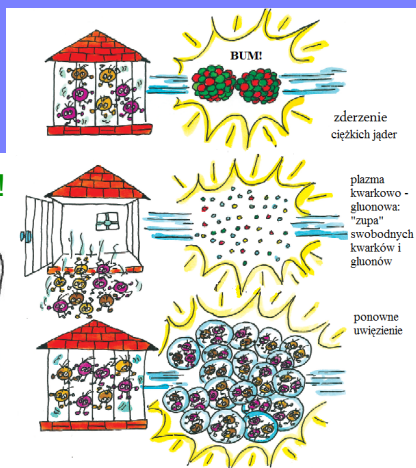
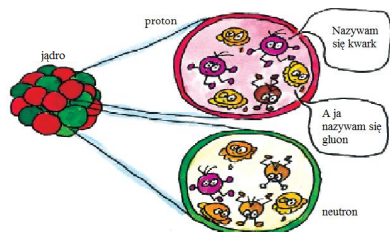


Bozony W, Z
„tłuszciochy”

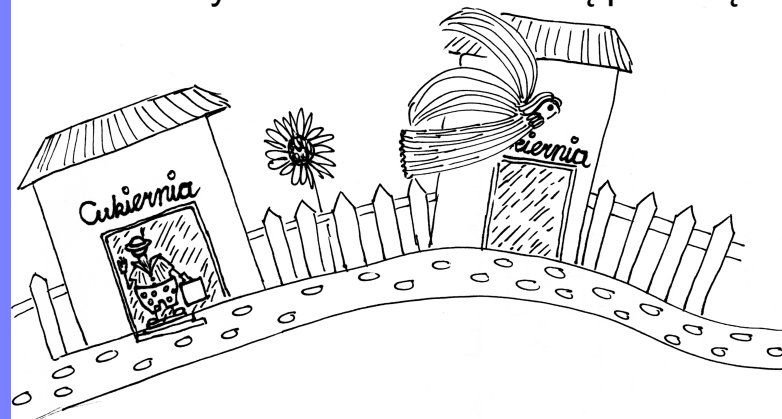
Oddziaływanie silne



Plazma kwarkowo-gluonowa!



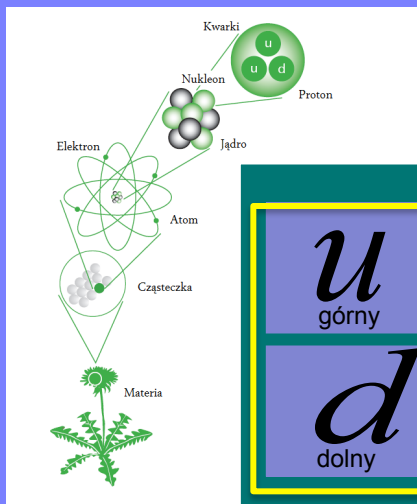
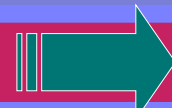
Oddziaływanie z naładowaną próżnią



bozon Higgsa?

coś bardziej skomplikowanego?

Dzisiaj: Model Standardowy



oddz. silne i elektromagnetyczne

Kwarki		
u górny	c powabny	t top
d dolny	s dziwny	b bottom
Leptony		
neutrino ν_e elektronowe	neutrino ν_μ mionowe	neutrino ν_τ taonowe
e elektron	μ mion	τ taon
Siły		
Z bozon Z	γ foton	
W bozon W	g gluon	

Charakterystyka cząstki: liczby **kwantowe**

$$Q = +2/3$$

$$Q = -1/3$$

$$Q = 0$$

$$Q = -1$$

$$Q = 0$$

$$Q = 0$$

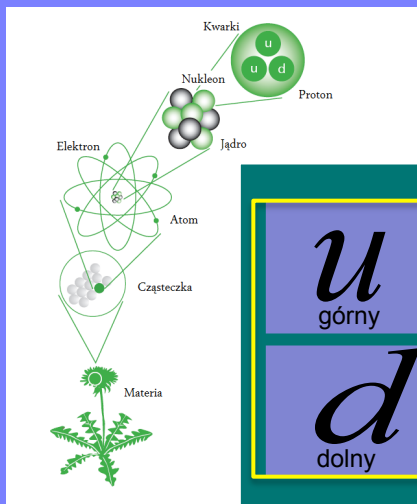
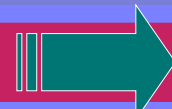
Każda cząstka ma **antycząstkę** o tej samej masie i spinie, ale przeciwnych wszystkich liczbach kwantowych.

Ogólna zasada:
wszystkie oddziaływania są dozwolone, o ile nie są zabronione przez konieczność zachowania liczb kwantowych.

$$Q = 0$$

$$Q = +1$$

Dzisiaj: Model Standardowy



oddz. słabe

Kwarki		
u górny	c powabny	t top
d dolny	s dziwny	b bottom
Leptony		
neutrino ν_e elektronowe	neutrino ν_μ mionowe	neutrino ν_τ taonowe
e elektron	μ mion	τ taon
Siły		
Z bozon Z	γ foton	
W bozon W	g gluon	

Charakterystyka cząstki: liczby **kwantowe**

$$Q = +2/3$$

$$Q = -1/3$$

$$Q = 0$$

$$Q = -1$$

$$Q = 0$$

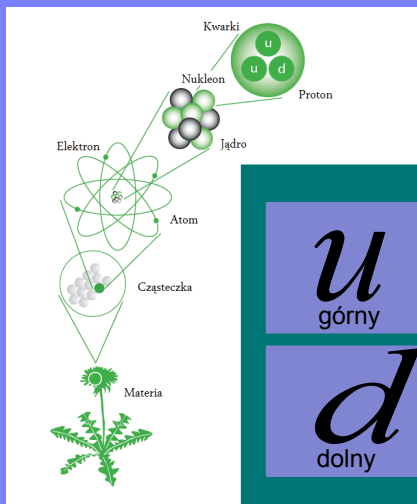
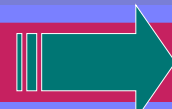
$$Q = 0$$

Każda cząstka ma **antycząstkę** o tej samej masie i spinie, ale przeciwnych wszystkich liczbach kwantowych.

Ogólna zasada:
wszystkie oddziaływania są dozwolone, o ile nie są zabronione przez konieczność zachowania liczb kwantowych.

$$Q = 0$$

$$Q = +1$$



Kwarki		
u górny	c powabny	t top
d dolny	s dziwny	b bottom
Leptony		
neutrino ν_e elektronowe	neutrino ν_μ mionowe	neutrino ν_τ taonowe
e elektron	μ mion	τ taon
Siły		
Z bozon Z	γ foton	
W bozon W	g gluon	

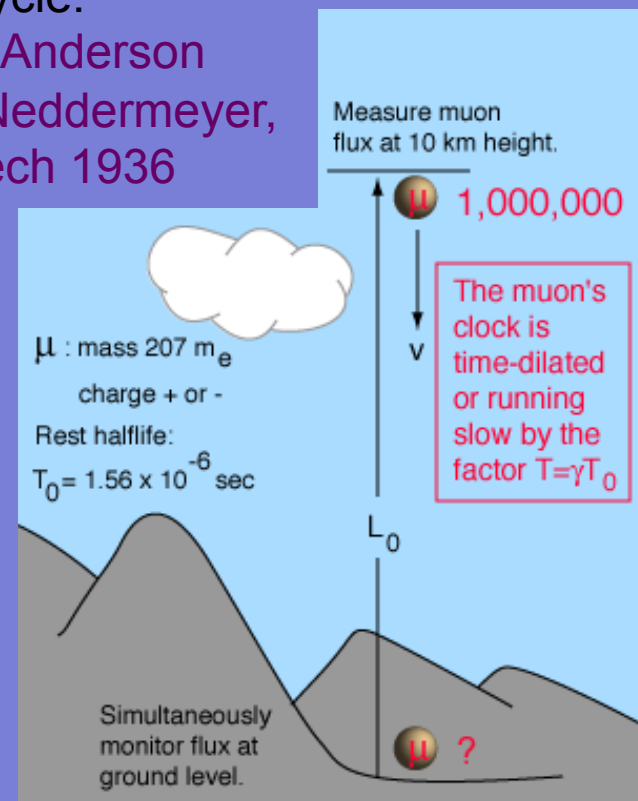
Mion

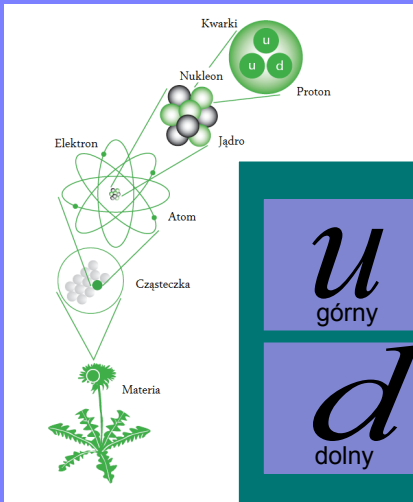
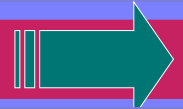
średni czas życia $2,2 \mu s$

masa $0,106 \text{ GeV}/c^2$

odkrycie:

C.D. Anderson
i S. Neddermeyer,
Caltech 1936





Kwarki		
u górny	c powabny	t top
d dolny	s dziwny	b bottom
Leptony		
neutrino ν_e elektronowe	neutrino ν_μ mionowe	neutrino ν_τ taonowe
e elektron	μ mion	τ taon
Siły		
Z bozon Z	foton γ	
W bozon W	gluon g	

Bozon W

średni czas życia $3 \cdot 10^{-25} \text{ s}$

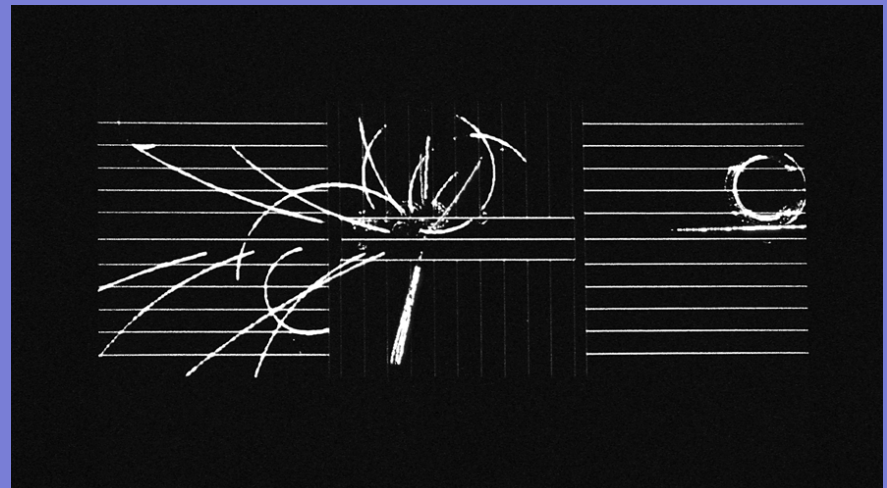
masa $80,4 \text{ GeV}/c^2$

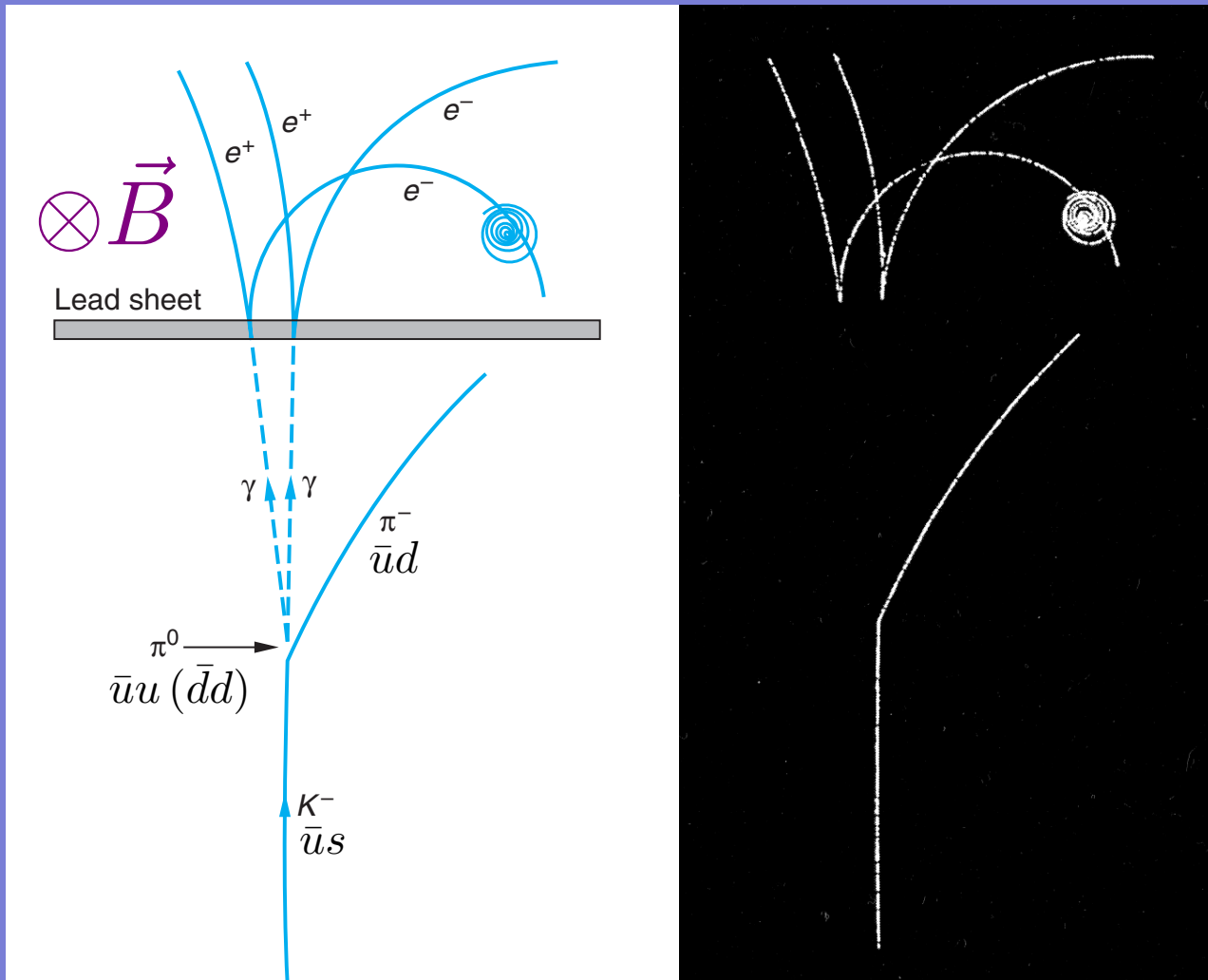
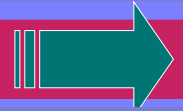
odkrycie:

CERN

eksperymenty UA1 i UA2

1983







Jest:

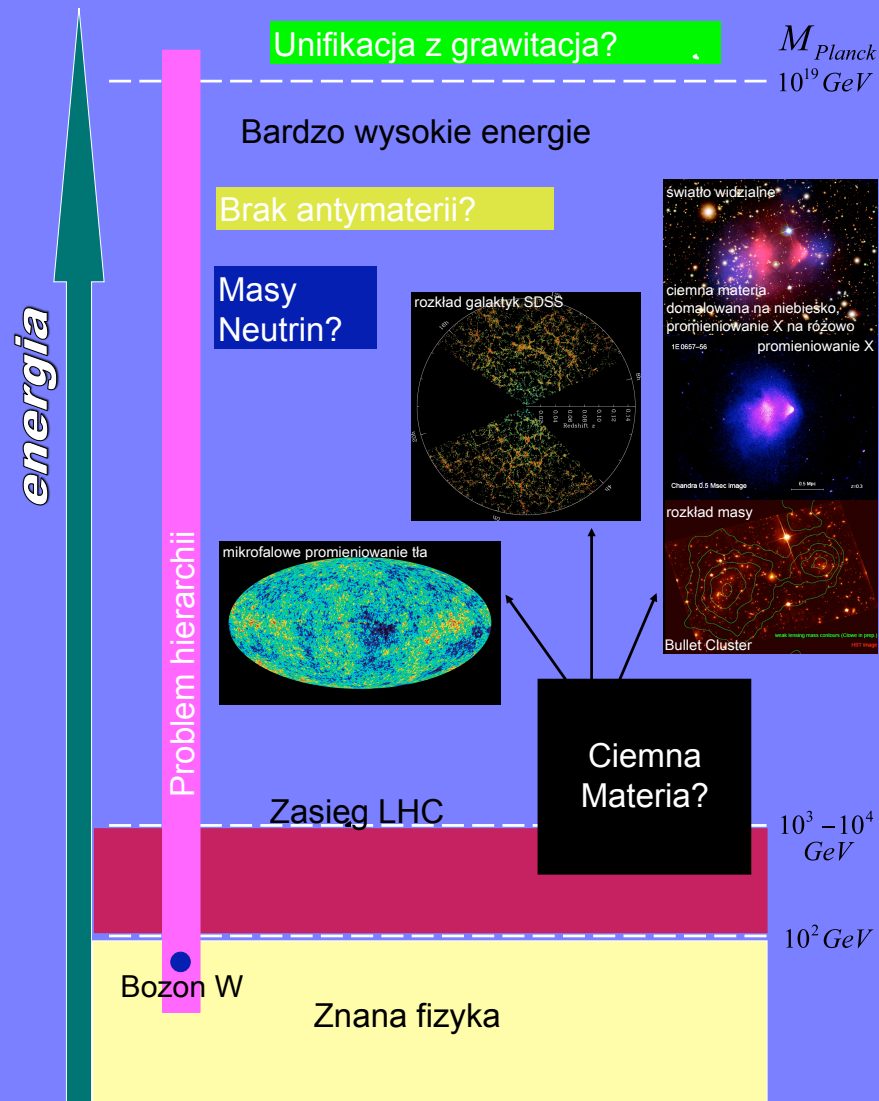
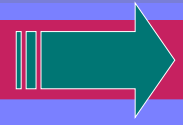
Teoria opisująca z niezwykłą dokładnością wyniki ogromnej liczby doświadczeń (i historię Wszechświata do miliardowej części sekundy) przy użyciu niewielkiej liczby parametrów.

Pozostaje
zrobić:

Doprecyzować opis próżni w oparciu o doświadczenie, np. znalezienie cząstki Higgsa.

Czy to już wszystko?
Czy Model Standardowy
jest teorią ostateczną?
mało prawdopodobne

Dzisiaj: Wspaniały, niedoskonały Model Standardowy

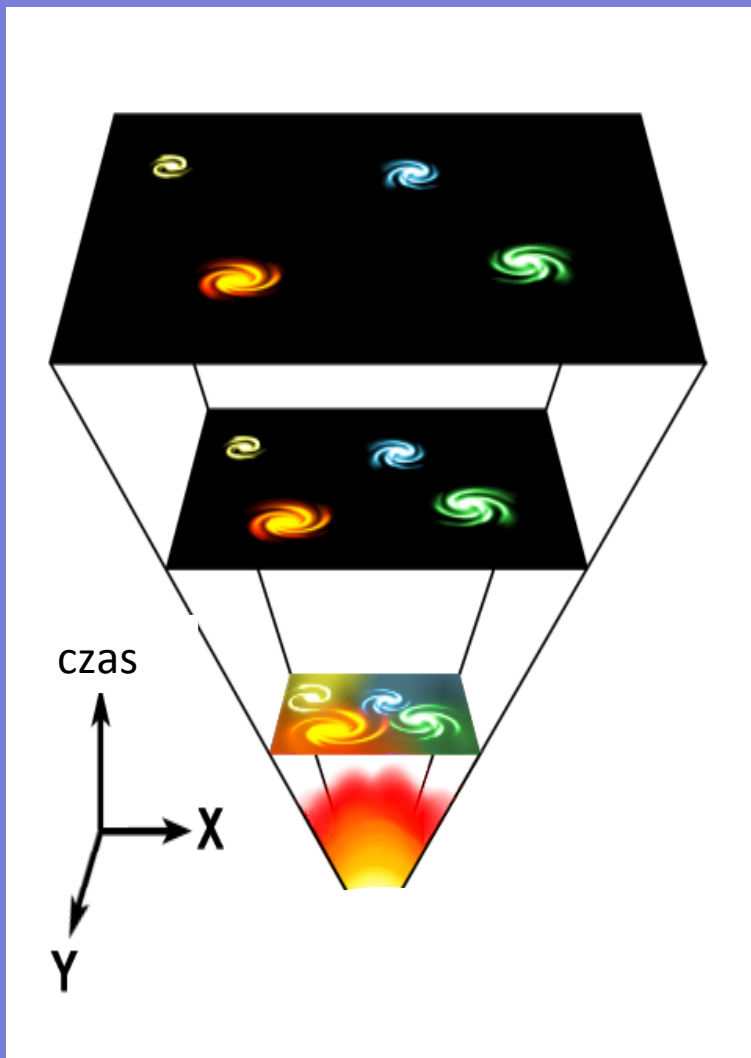


Problem hierarchii

Jak wyprowadzić M_W „z pierwszych zasad”?

$$\begin{array}{c} \theta_W \quad \alpha \\ G \\ \theta_C \\ k \\ \Lambda_{QCD} \end{array} \quad \begin{array}{c} M_W \\ c \\ \hbar \end{array}$$

Wszechświat cząstek elementarnych



Wszechświat się rozszerza

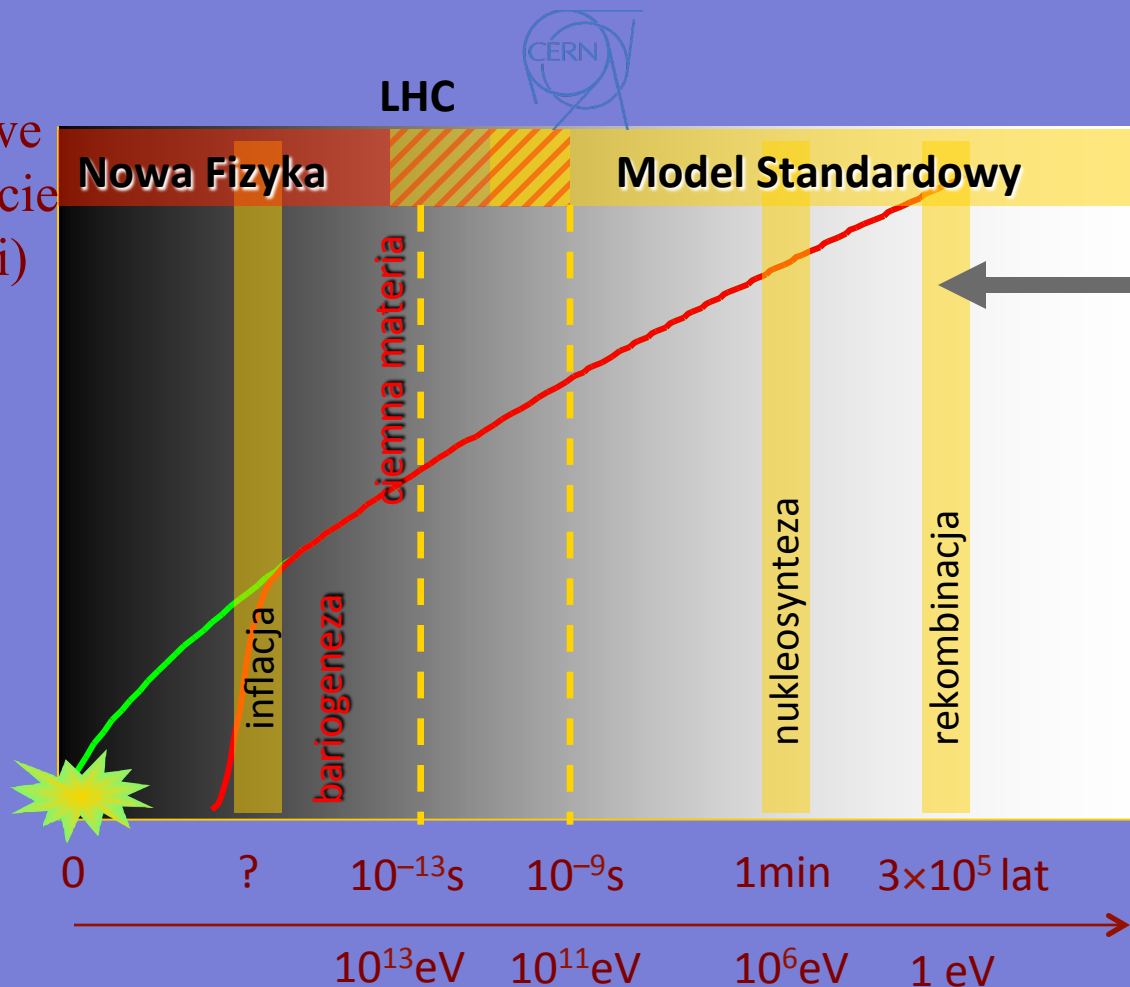
Dawno temu Wszechświat był gęsty i gorący – wypełniające go cząstki zderzały się z **wielkimi energiami**.

Zachodzące wówczas procesy były konsekwencją praw **fizyki oddziaływań elementarnych** (w grawitacyjnym tle).

Wszechświat cząstek elementarnych

odległości we
Wszechświecie
(nie w skali)

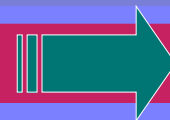
Wielki
Wybuch
(dawniej)



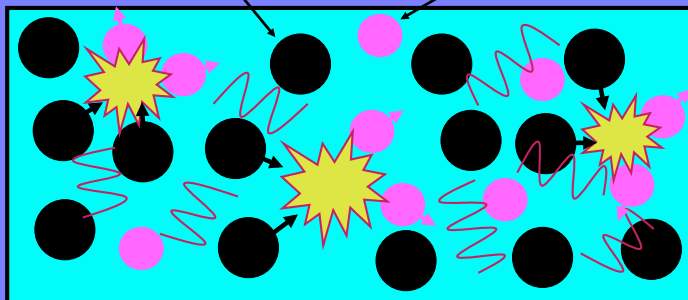
bezpośrednie
obserwacje
kosmologiczne

czas
(nie w skali)
energia
(nie w skali)

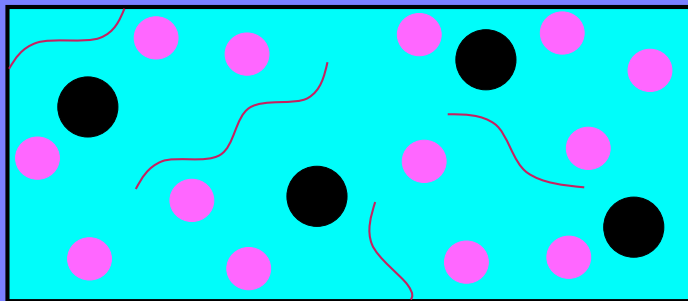
Dzisiaj: Wspaniały, niedoskonały Model Standardowy



Ciemna materia „zwykła” materia



Wczesny, gorący Wszechświat:
dużo cząstek ciemnej materii, oddziaływania tworzą
i niszczą cząstki ciemnej materii.



Wszechświat chłodniejszy:
cząstki ciemnej materii są rzadkie i praktycznie nie anihilują,
przeżywają po dziś dzień.

Potrzebna:



← słabo oddziałująca neutralna cząstka
o masie rzędu masy bozonu W
spoza Modelu Standardowego!

Przepis na postęp w nauce

teoria:
Model Standardowy

Teoria ma problem

(dane doświadczalne:
ciemna materia, brak antymaterii,
hierarchia, masy neutrin)

Nowa teoria
-zasada korespondencji
-nowe przewidywania

Weryfikacja przewidywań

teoria:
???

w pewnej granicy

Wiele pól Higgsa

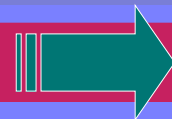
Supersymetria

**Dodatkowe
wymiar**



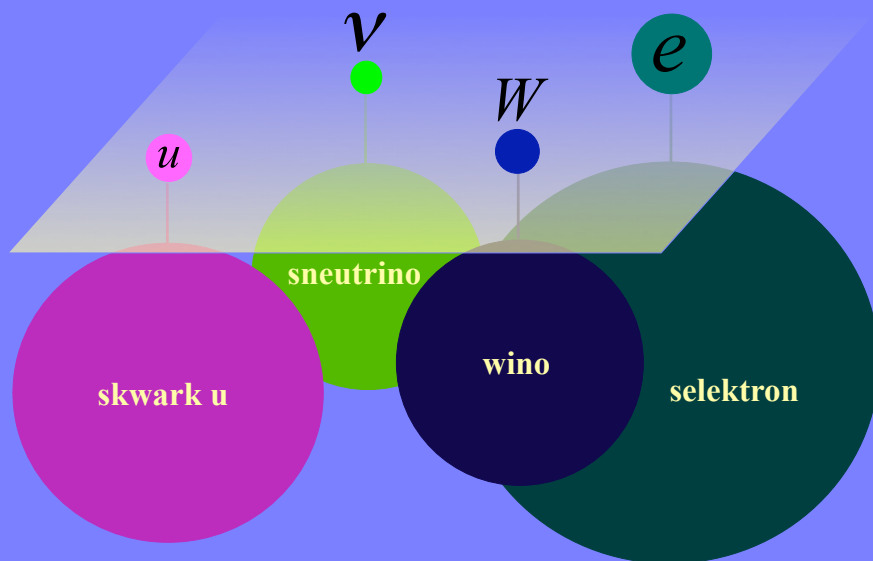
LHC

cząstka Higgsa



Supersymetria

Poprawiamy teorię cząstek



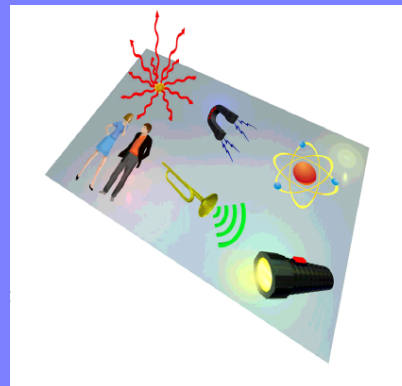
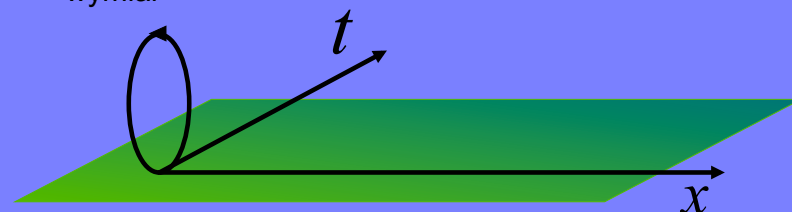
znane cząstki i ich masywni superpartnerzy
- wśród nich kandydaci na ciemną materię

masa bozonu W związana jest ze skalą
mas cząstek supersymetrycznych

Dodatkowe wymiary

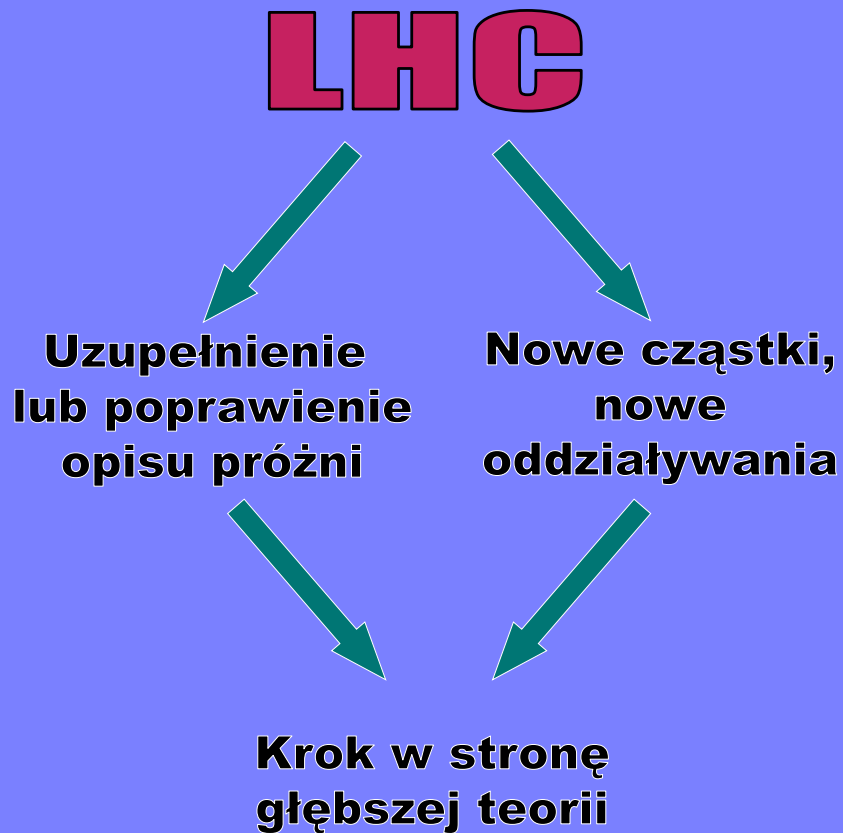
Poprawiamy czasoprzestrzeń

zwinięty dodatkowy
wymiar



nowe cząstki - kandydaci na ciemną materię

masa bozonu W powiązana z wielkością lub krzywizną
dodatkowych wymiarów



Zadanie na dziś: zrozumieć dane



Johann Beringer



Zadanie na dziś: zrozumieć dane



	I	II	III	
mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g gluon
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	91.2 GeV 0 1 Z^0 weak force
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV ± 1 1 $W^\pm$ weak force
Leptons				Bosons (Forces)

$$W^+ \rightarrow ?$$

$$u\bar{d}$$

$$u\bar{s}$$

~~$$u\bar{c}$$~~

$$e^+\nu_e$$

~~$$\mu^+\nu_e$$~~

$$\mu^+\nu_\mu$$

~~$$Z^0\nu_e$$~~

~~$$\mu^+\bar{\nu}_\mu$$~~