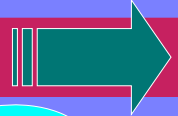


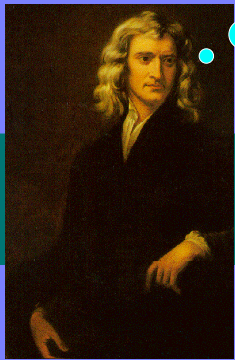
Cząstki elementarne wprowadzenie

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

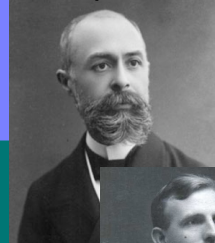
Maxwell



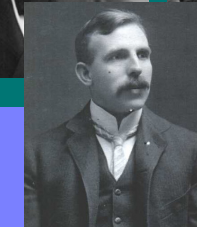
XIX w.: elektryczność i magnetyzm zunifikowane w jedną teorię, oddziaływanie między ładunkami przenoszone przez pola (zapropozowane przez Faradaya)

początek XX w.: odkrycie promieniowania α i β .

Becquerel



Maria i Piotr Curie



Rutherford

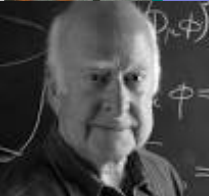
Glashow



Weinberg



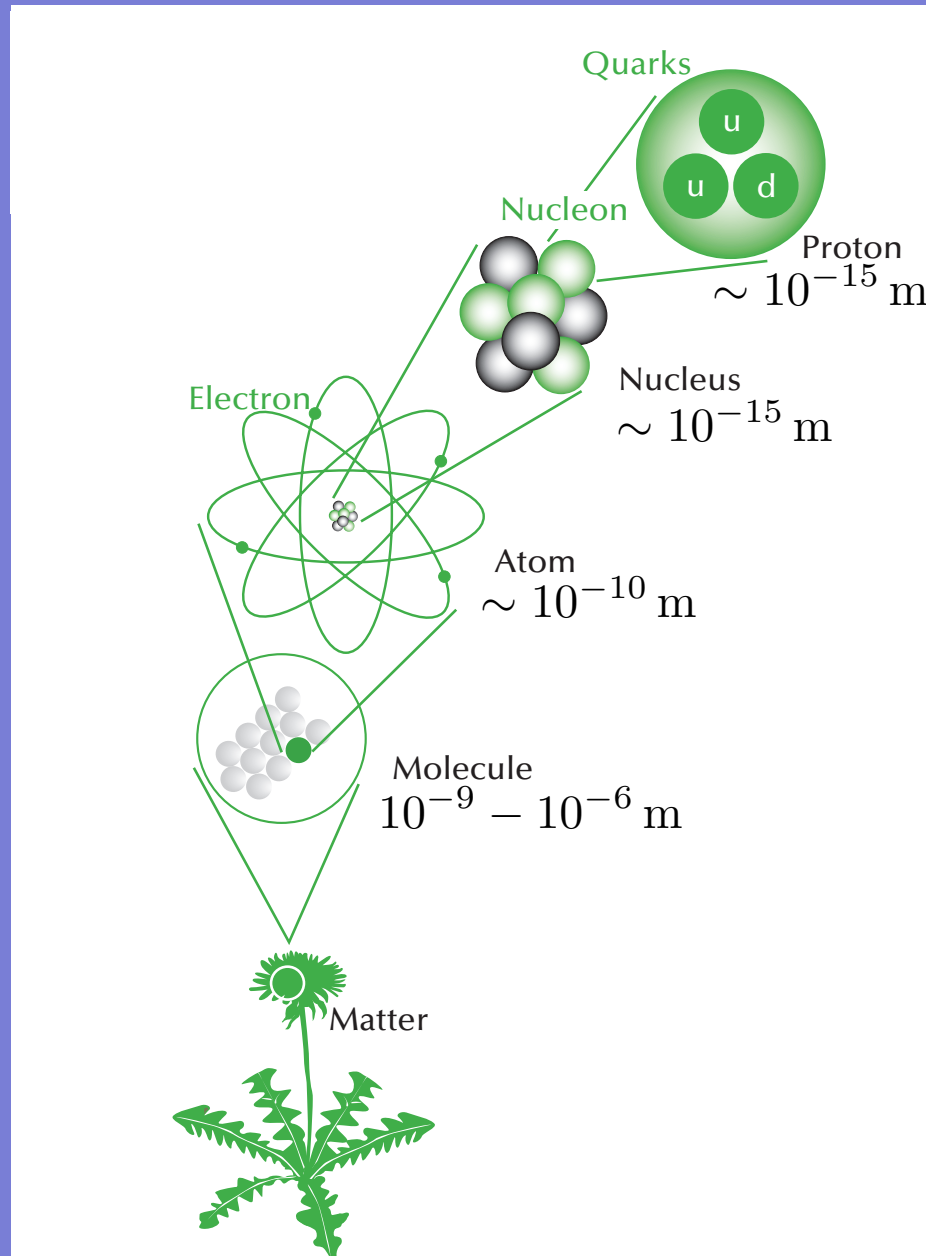
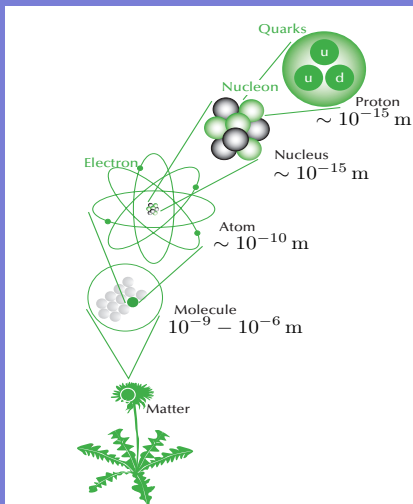
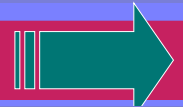
Salam



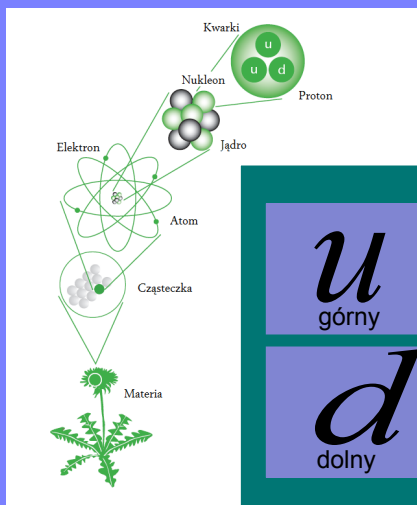
Higgs

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

Dzisiaj: Model Standardowy



Dzisiaj: Model Standardowy



Kwarki

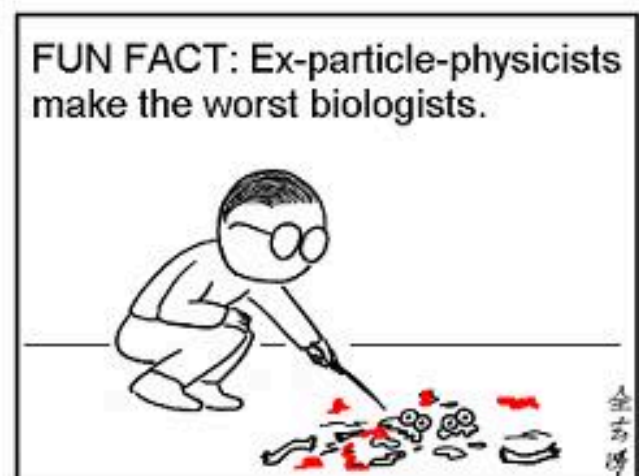
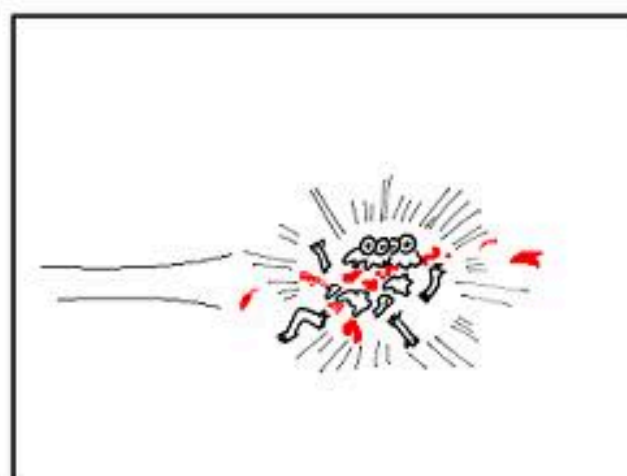
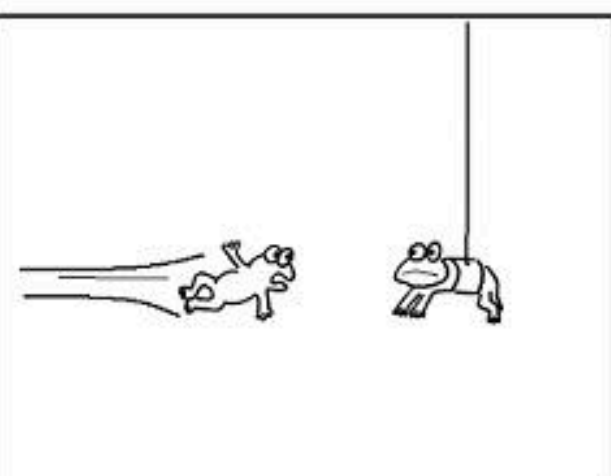
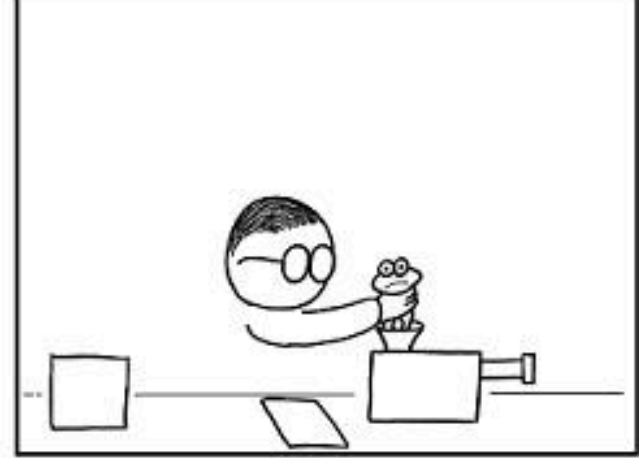
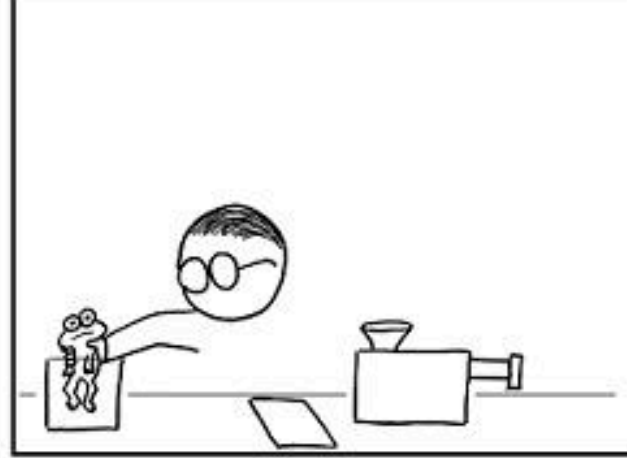
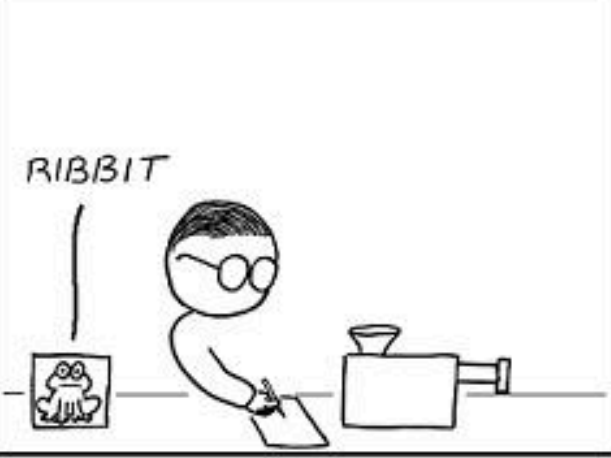
u górnny	c powabny	t top
d dolny	s dziwny	b bottom

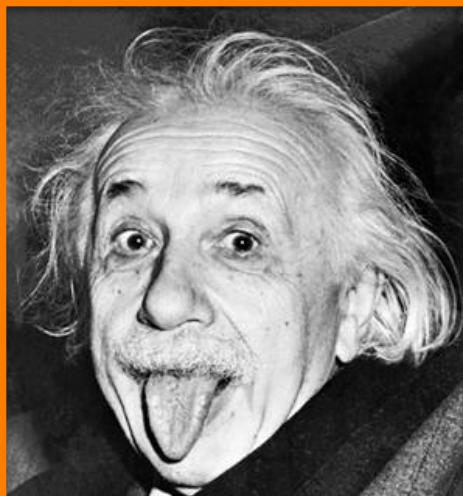
Leptony

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

Sity

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.

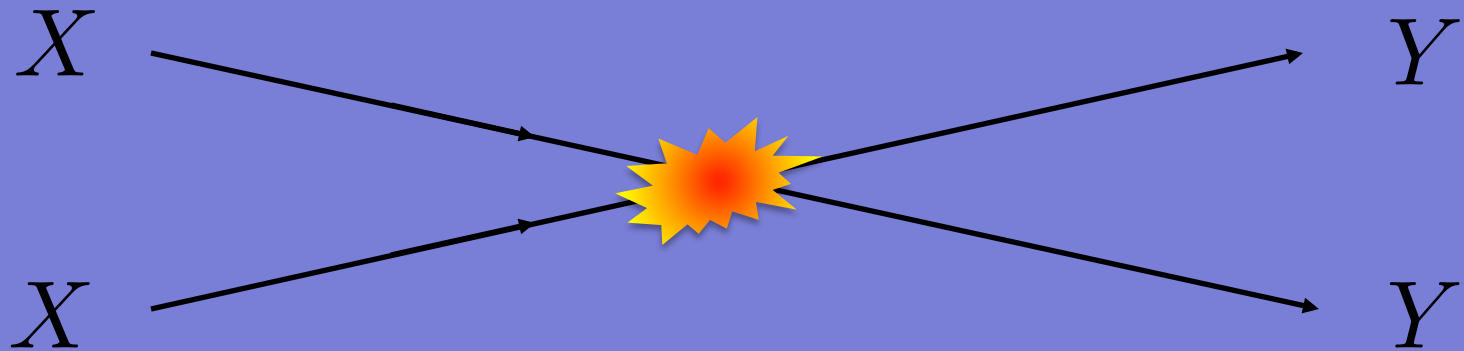
$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

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

Jednostka masy

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

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

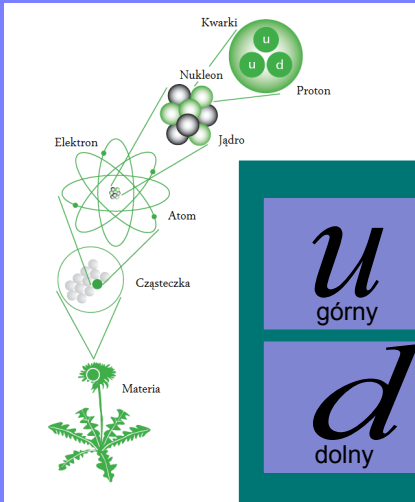
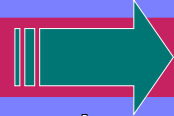


$$2m_X c^2 + E_K^{\text{przed}} = 2m_Y c^2 + E_K^{\text{po}}$$

Zasada zachowania energii

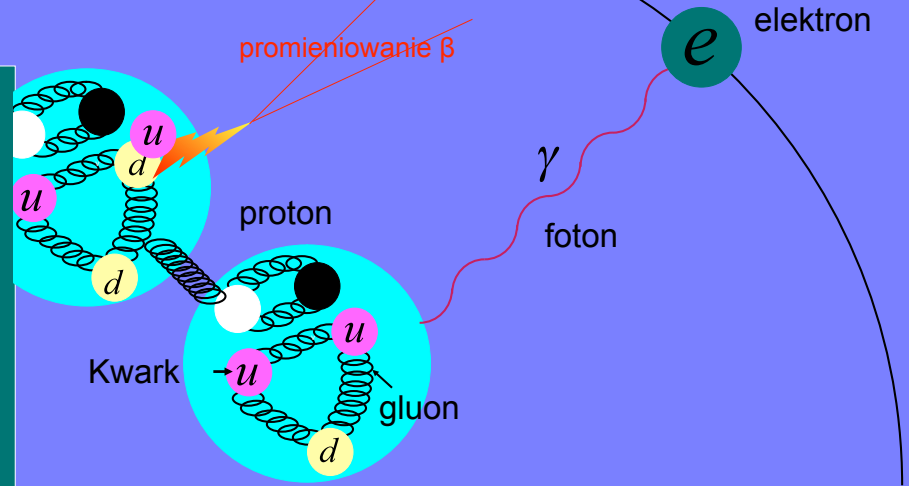
(Zasada zachowania pędu)

Dzisiaj: Model Standardowy

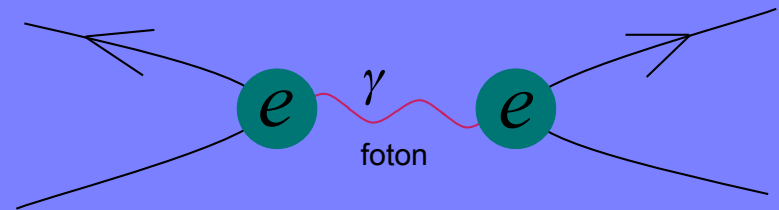


Kwarki		
u górny	c powabny	t top
d dolny	s dziwny	b bottom
Leptony		
neutrino ν_e elektronowe	neutrino ν_μ mionowe	neutrino ν_τ taonowe
e elektron	μ mion	τ taon
Siły		
Z bozon Z	γ foton	
W bozon W	g gluon	

Model Standardowy opisuje oddziaływania i przemiany zachodzące w mikroświecie

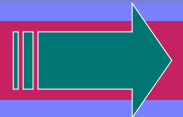


Oddziaływanie elektromagnetyczne

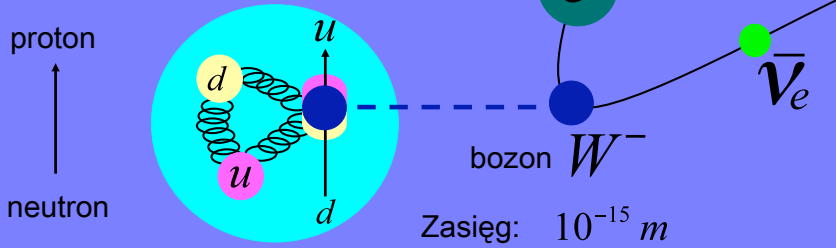


Zasięg: nieskończony

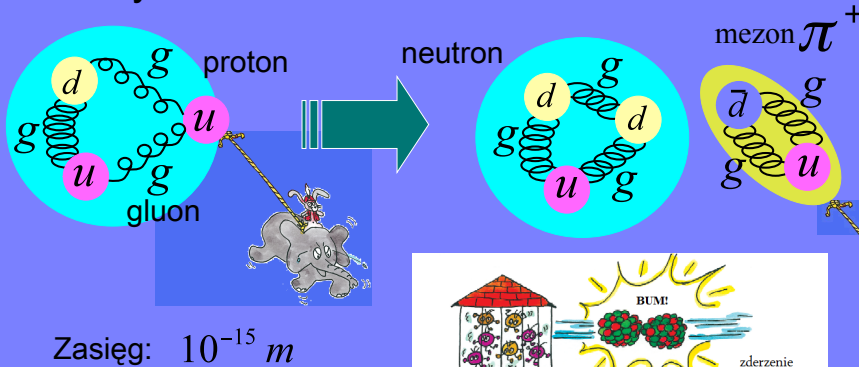
Dzisiaj: Model Standardowy



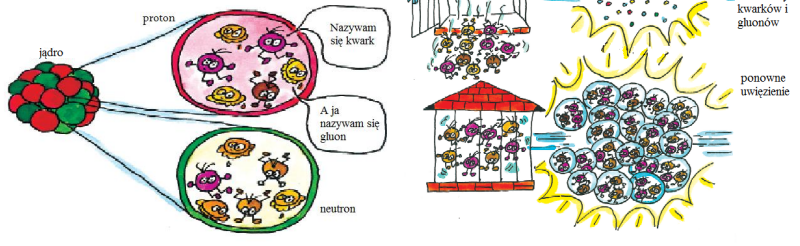
Oddziaływanie słabe



Oddziaływanie silne



Plazma kwarkowo-gluonowa!



Bliscy kuzyni



Foton
bezmasyowy



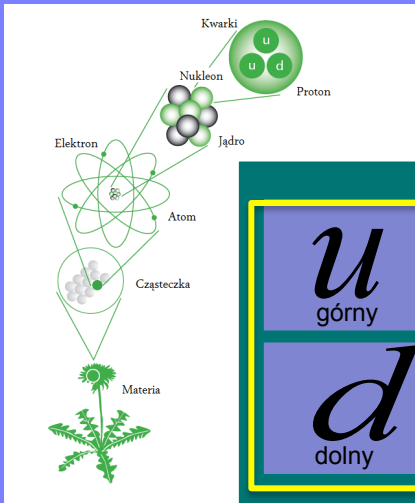
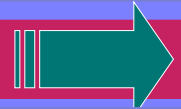
Bozony W, Z
„tłuszciochy”

Oddziaływanie z naładowaną próżnią



bozon Higgsa?

coś bardziej skomplikowanego?



oddz. silne i elektromagnetyczne

Kwarki		
u górnny	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**

$$Q = +2/3$$

$$Q = -1/3$$

$$Q = 0$$

$$Q = -1$$

$$Q = 0$$

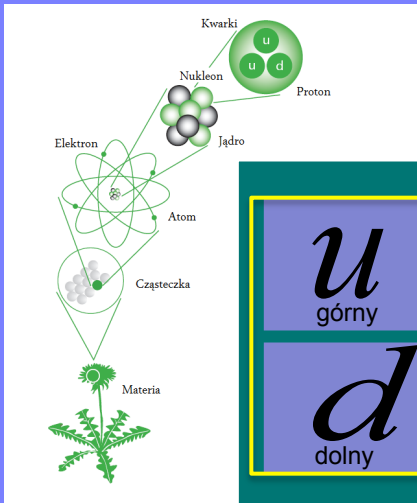
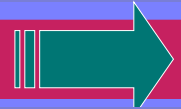
$$Q = 0$$

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.

$$Q = 0$$

$$Q = +1$$



oddz. słabe

Kwarki		
u górnny	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**

$$Q = +2/3$$

$$Q = -1/3$$

$$Q = 0$$

$$Q = -1$$

$$Q = 0$$

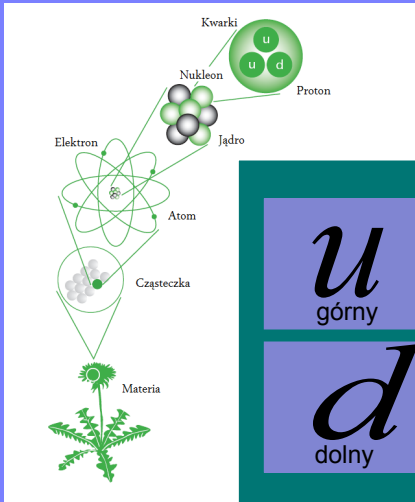
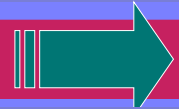
$$Q = 0$$

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 górnny	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	γ foton	
W bozon W	g gluon	

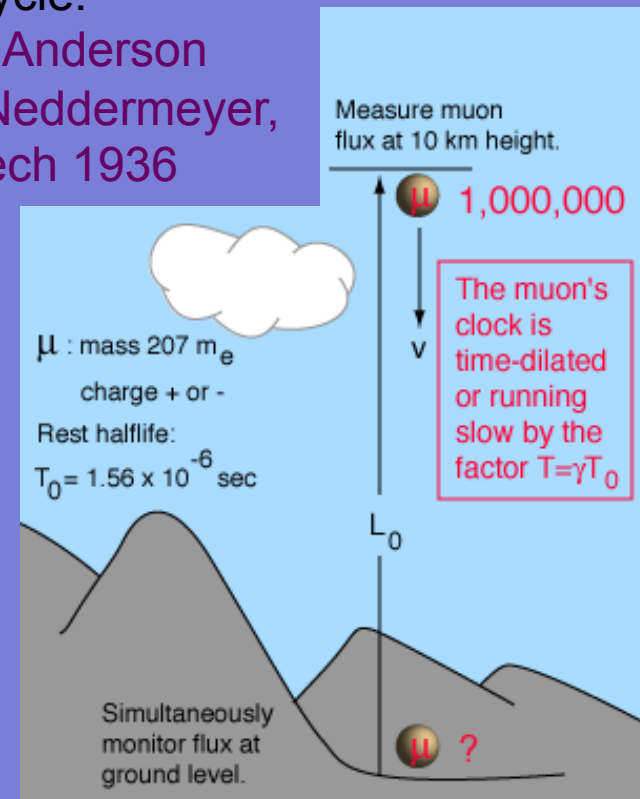
Mion

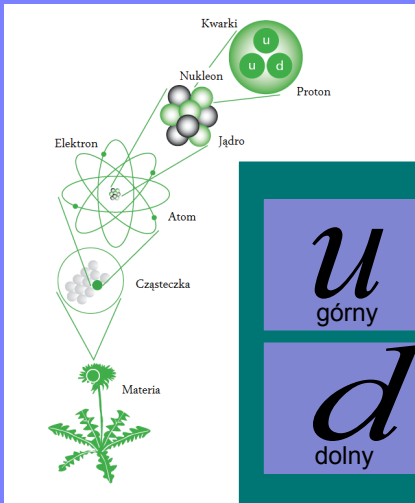
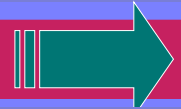
średni czas życia $2,2 \mu s$

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

odkrycie:

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





Kwarki		
u górnny	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 $3 \cdot 10^{-25} \text{ s}$

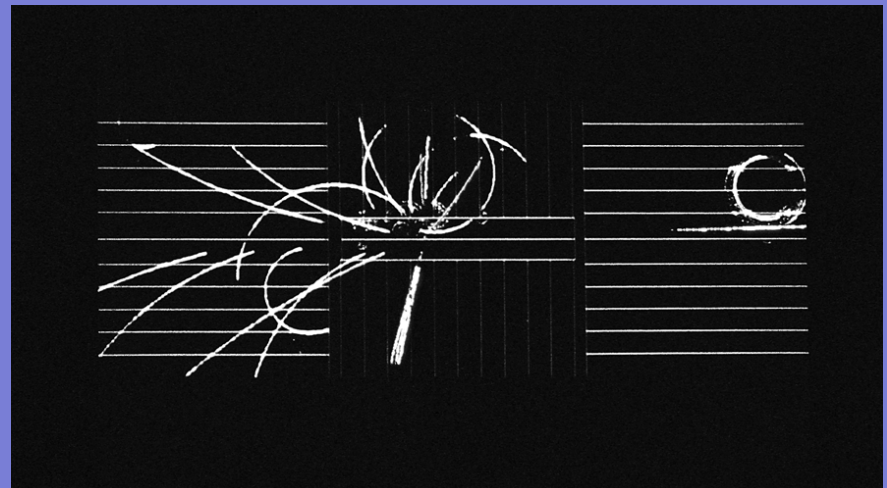
masa $80,4 \text{ GeV}/c^2$

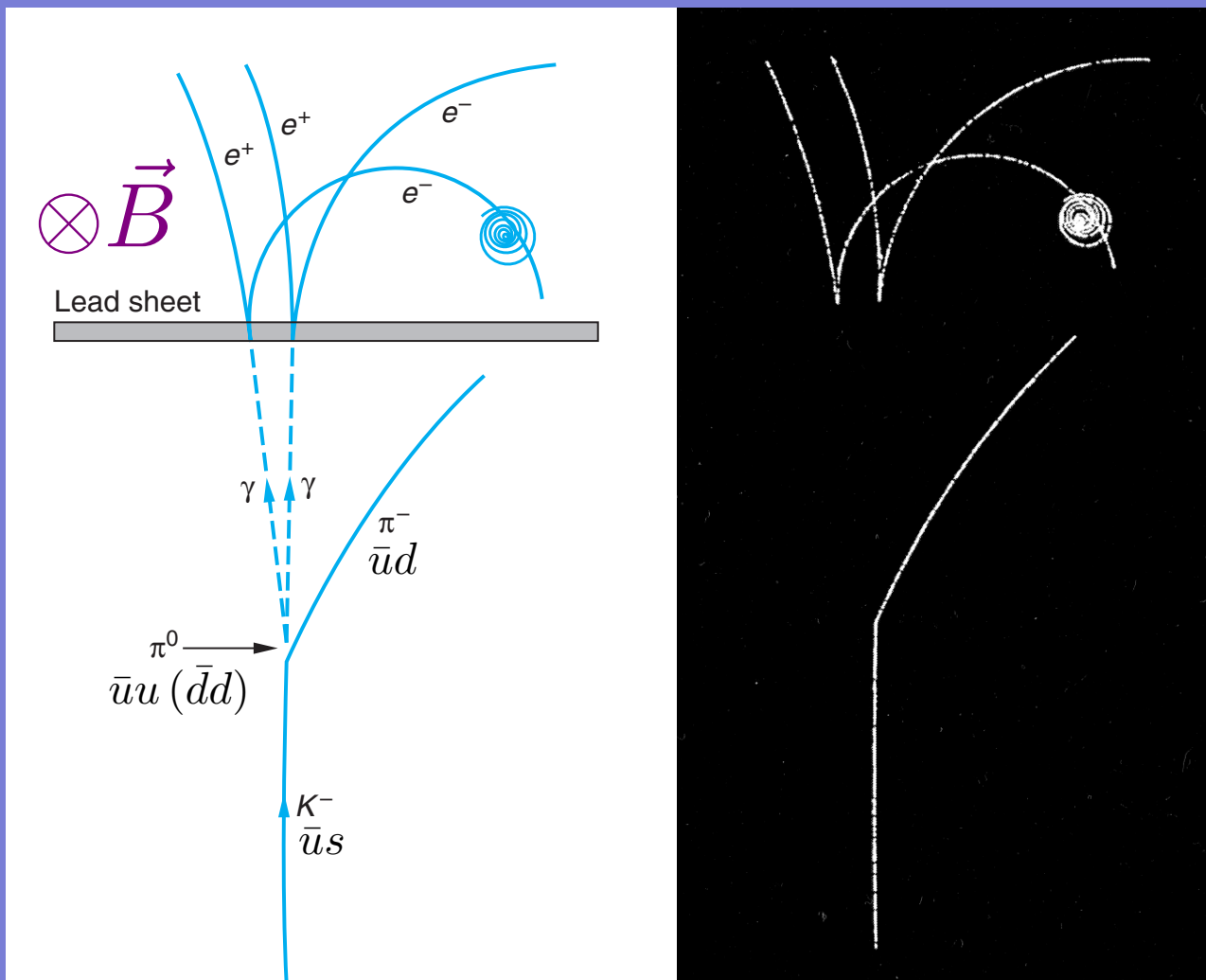
odkrycie:

CERN

eksperymenty UA1 i UA2

1983



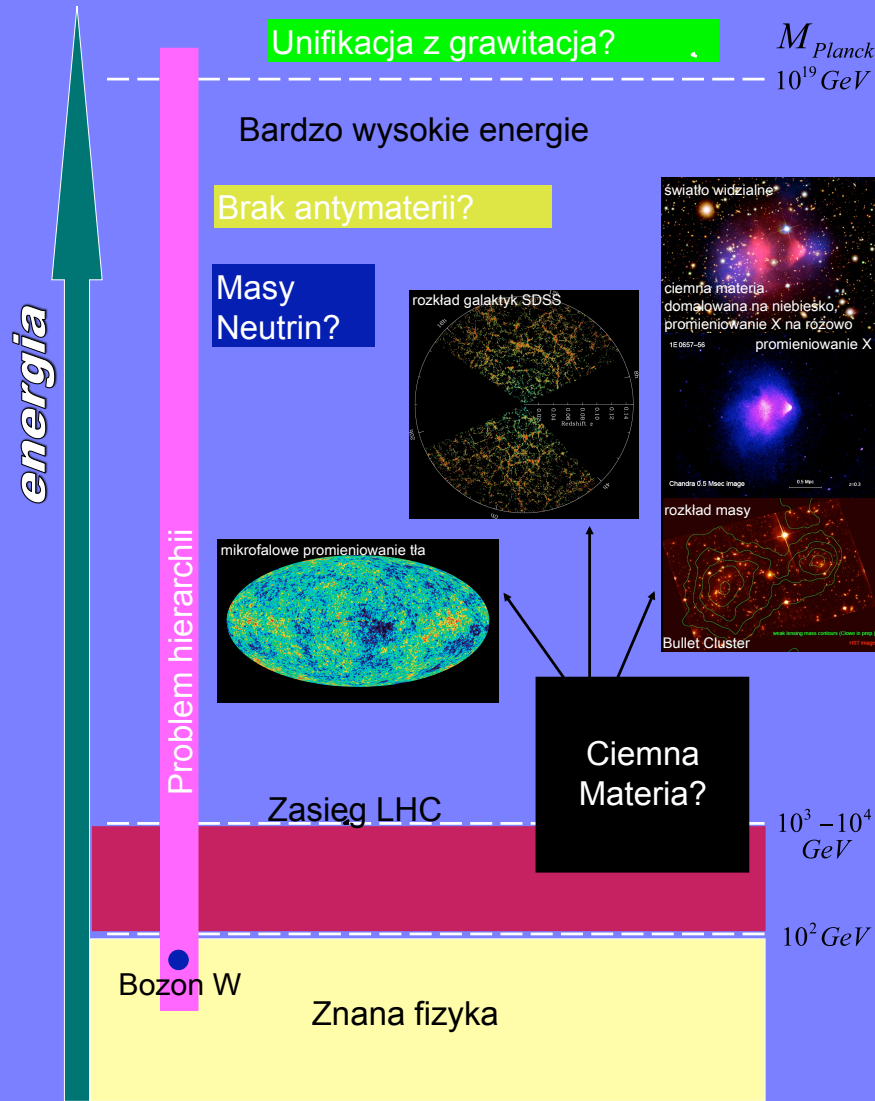
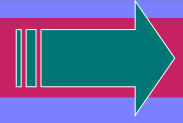




Jest:	Teoria opisująca z niezwykłą dokładnością wyniki ogromnej liczby doświadczeń (i historię Wszechświata do miliardowej części sekundy) przy użyciu niewielkiej liczby parametrów.
Ostatnio zrobione:	Doprecyzowanie opisu próżni w oparciu o doświadczenie, znalezienie cząstki Higgsa.
Pozostaje zrobić:	Doprecyzowanie opisu próżni w oparciu o doświadczenie, zbadanie własności cząstki Higgsa.

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

Dzisiaj: Wspaniałe, niedoskonałe Model Standardowy



Problem hierarchii

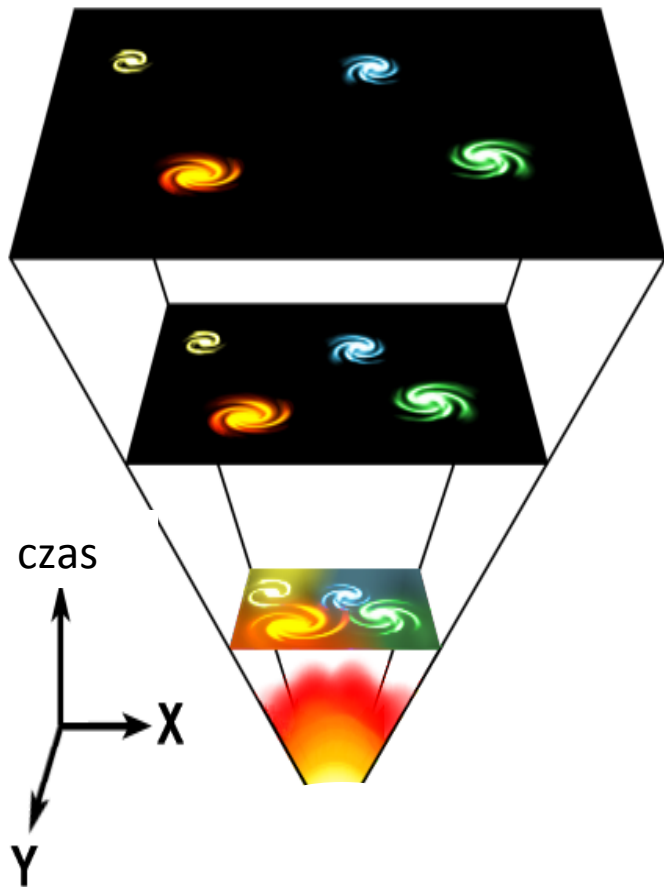
Jak wyprowadzić M_W „z pierwszych zasad”?

G θ_W α

θ_C M_W c

k Λ_{QCD} \hbar

Wszechświat cząstek elementarnych



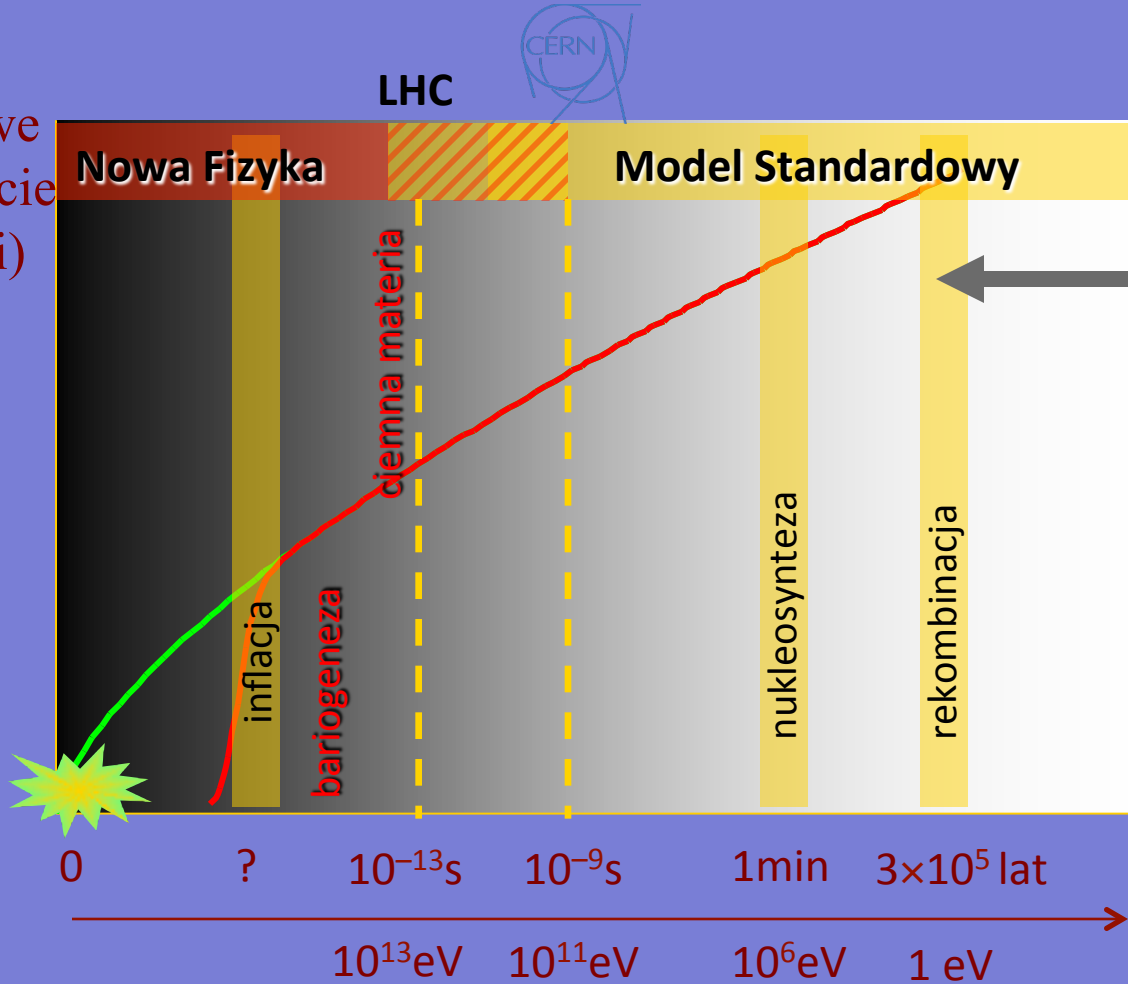
Wszechświat się rozszerza

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)

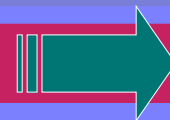


bezpośrednie
obserwacje
kosmologiczne

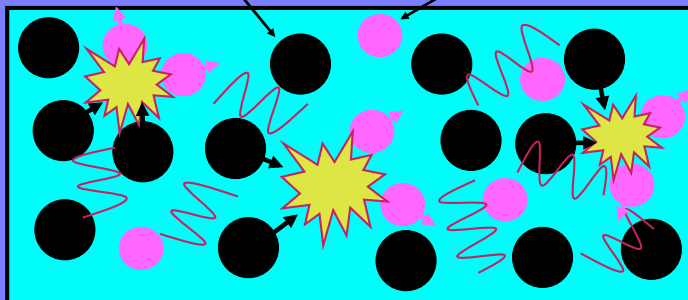
Wielki
Wybuch
(dawniej)

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

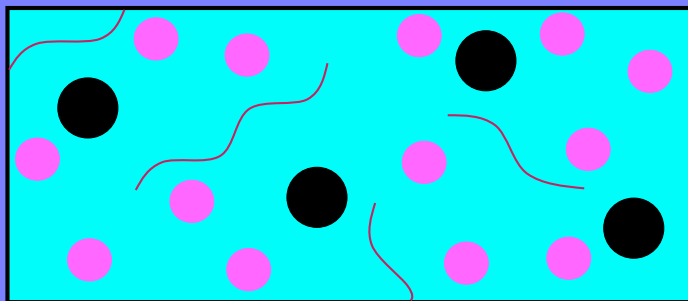
Dzisiaj: Wspaniałą, niedoskonałą Model Standardowy



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

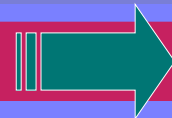
teoria:
???

w pewnej granicy

cząstka Higgsa

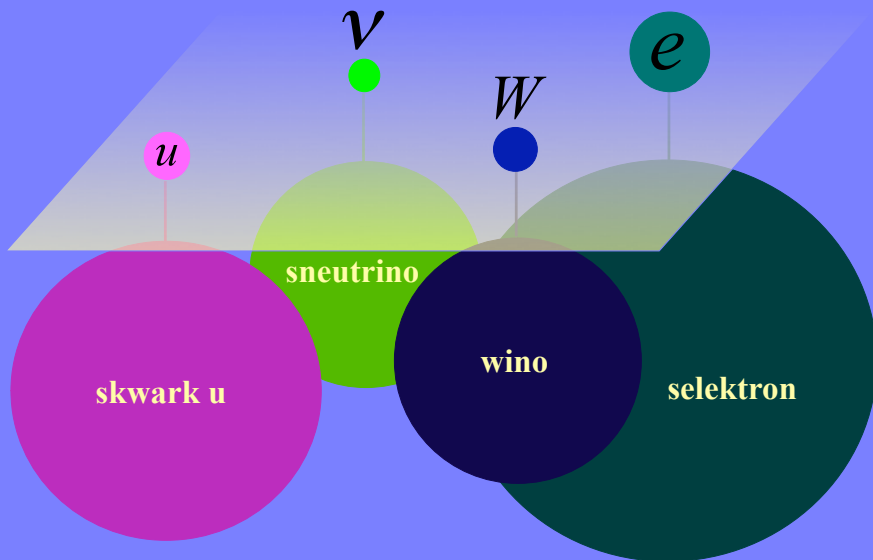
Wiele pól Higgsa
Supersymetria
Dodatkowe wymiary

→ **LHC**



Supersymetria

Poprawiamy teorię cząstek



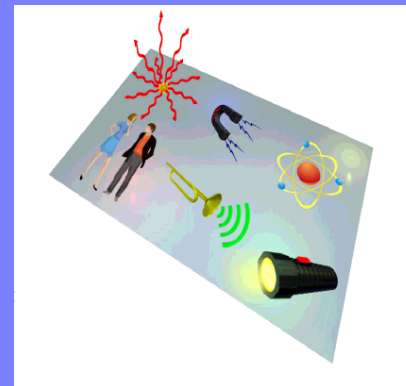
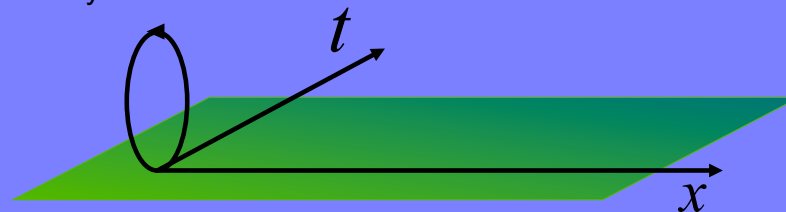
znane cząstki i ich masywni superpartnerzy
- wśród nich kandydaci na ciemną materię

masa bozonu W związana jest ze skalą
mas cząstek supersymetrycznych

Dodatkowe wymiary

Poprawiamy czasoprzestrzeń

zwinęty dodatkowy
wymiar



nowe cząstki - kandydaci na ciemną materię

masa bozonu W powiązana z wielkością lub krzywizną
dodatkowych wymiarów

LHC

Uzupełnienie
lub poprawienie
opisu próżni

Nowe cząstki,
nowe
oddziaływania

Krok w stronę
głębszej teorii



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	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon
Leptons	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W[±] weak force

Bosons (Forces)

$$W^+ \rightarrow ?$$

$$u\bar{d}$$

$$u\bar{s}$$

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

$$e^+\nu_e$$

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

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

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

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



- Tracks (reco.)
- Clusters (Si Pixels)
- Clusters (Si Strips)
- Rec. Hits (Tracking)
- ECAL**
- Barrel Rec. Hits
- Endcap Rec. Hits
- Preshower Rec. Hits
- HCAL**
- Barrel Rec. Hits
- Endcap Rec. Hits
- Forward Rec. Hits
- Outer Rec. Hits
- Muon**
- DT Rec. Hits
- DT Rec. Segments (4D)
- CSC Segments
- RPC Rec. Hits
- CSC Rec. Hits (2D)
- Matching muon chambers
- Physics Objects**
- Electron Tracks (GSF)
- Tracker Muons (Reco)
- Stand-alone Muons (Reco)
- Global Muons (Reco)
- Calorimeter Energy Towers
- Jets



- Controls:**
- rotate
 - Ctrl** + → pan x / y
 - Shift** + → pan z