



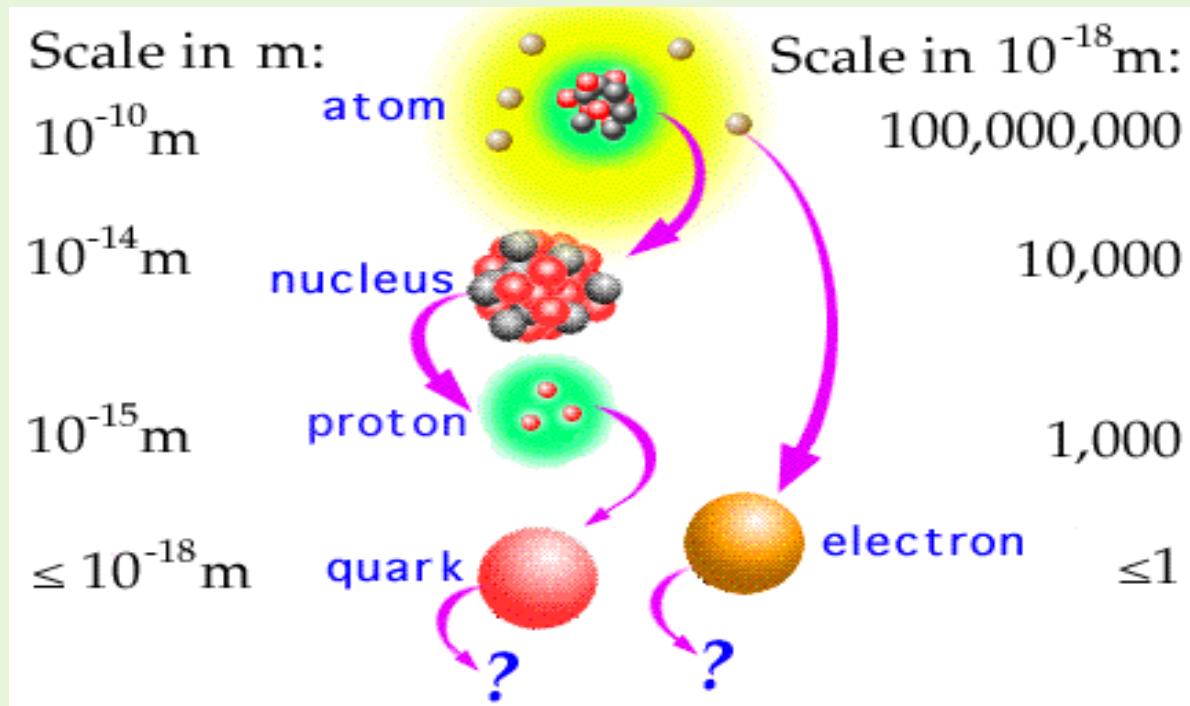
- Cząstka Higgsa - droga do „teorii wszystkiego”

Bohdan Grządkowski
Uniwersytet Warszawski
Wydział Fizyki
Instytut Fizyki Teoretycznej







Plan

- Model Standardowy oddziaływań fundamentalnych
- LHC i odkrycie cząstki Higgsa na drodze do „teorii wszystkiego”
- Zagadki kosmologii

Jak oddziałują podstawowe składniki materii?









Model Standardowy oddziaływań fundamentalnych

Składnik materii	Elektron Razem z jądrem tworzy atom 	Neutrino elektronowe Cząstka obojętna o bardzo małej masie; w ciągu sekundy miliardy tych cząstek przenikają przez nasze ciało. 
	Mion Cięższy, pokrewny elektronowi; jego czas życia wynosi dwie milionowe części sekundy 	Neutrino mionowe Powstaje jednocześnie z mionami podczas rozpadu niektórych cząstek 
	Tau Cząstka jeszcze cięższa, niezwykle nietrwała. Została odkryta w 1975r. 	Neutrino tauonowe Odkryte w 2000. 

Polskie strony LHC, <http://lhc.fuw.edu.pl/mat.html>

Model Standardowy oddziaływań fundamentalnych

Składnik materii	Up (górnny) Ma ładunek elektryczny plus dwie trzecie; proton zawiera dwa takie kwarki, neutron jeden. 	Down (dolny) Ma ładunek elektryczny minus jedna trzecia; proton zawiera jeden taki kwark, neutron dwa. 
	Charm (powabny) Cięższy od kwarku Up: odkryty w 1974r. 	Strange (dziwny) Cięższy odpowiednik down. 
	Top Jeszcze cięższy; odkryty w 1995r. 	Bottom (piękny) Jeszcze cięższy; pomiar kwarków bottom jest ważnym testem teorii elektroslabej. 

ODDZIAŁYWANIA ELEKTROMAGNETYCZNE



Związane z nimi zjawiska



ODDZIAŁYWANIA ELEKTROMAGNETYCZNE



Związane z nimi zjawiska

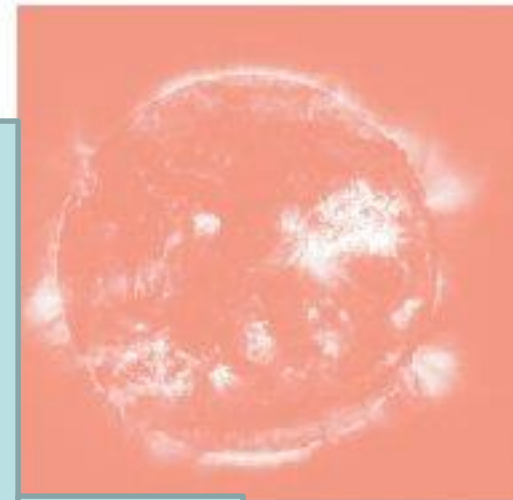
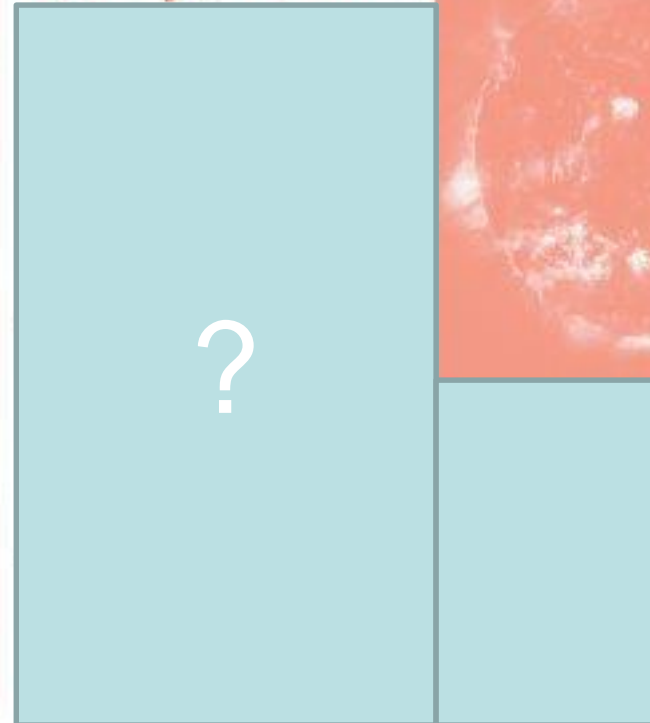
Wiążą one elektrony z jądrami w atomach i wiążą atomy w cząsteczki; są również odpowiedzialne za właściwości ciał stałych, cieczy i gazów.



ODDZIAŁYWANIA SŁABE



Związane z nimi zjawiska

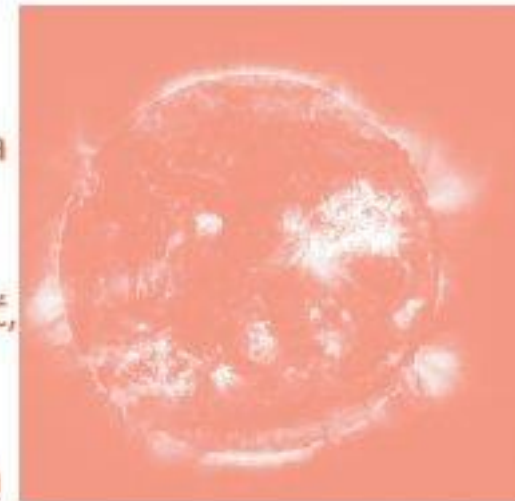


ODDZIAŁYWANIA SŁABE



Związane z nimi zjawiska

Słabe oddziaływania są odpowiedzialne za naturalną promieniotwórczość, np. ziemi, która jest pod naszymi stopami. Odgrywają również zasadniczą rolę w oddziaływaniach jądrowych wewnątrz takich gwiazd, jak na przykład Słońce, gdzie wodór jest zamieniany w hel.



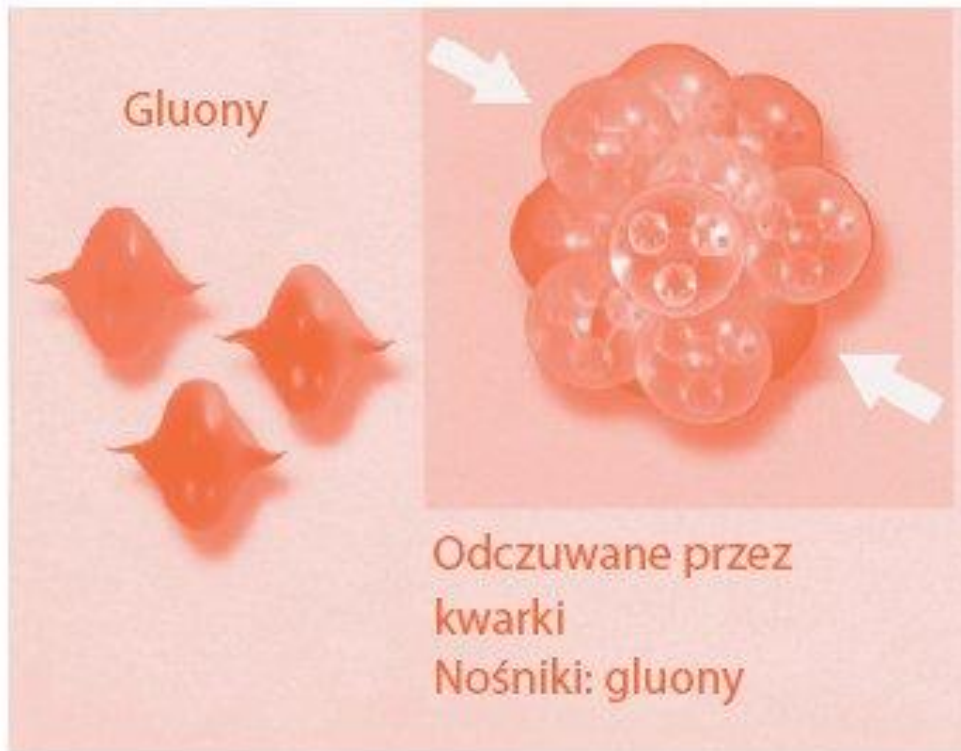
ODDZIAŁYWANIA SILNE



Związane z nimi zjawiska

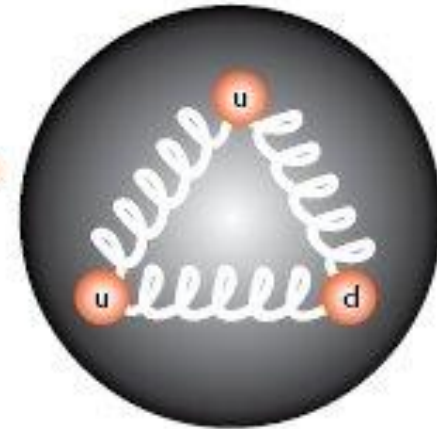


ODDZIAŁYWANIA SILNE

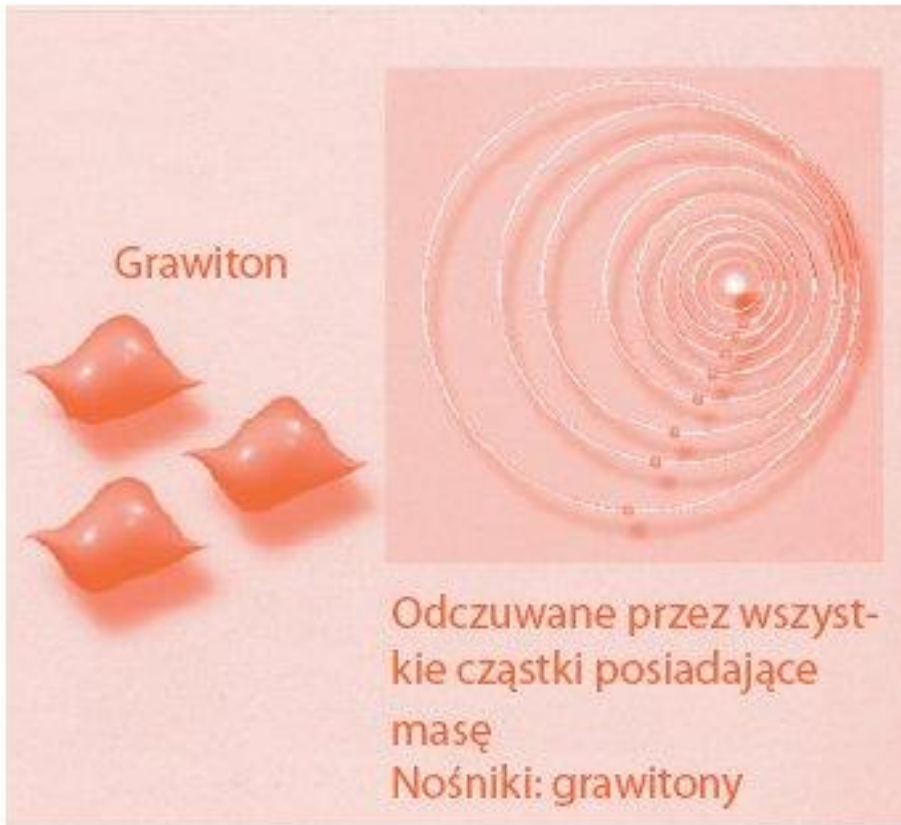


Związane z nimi zjawiska

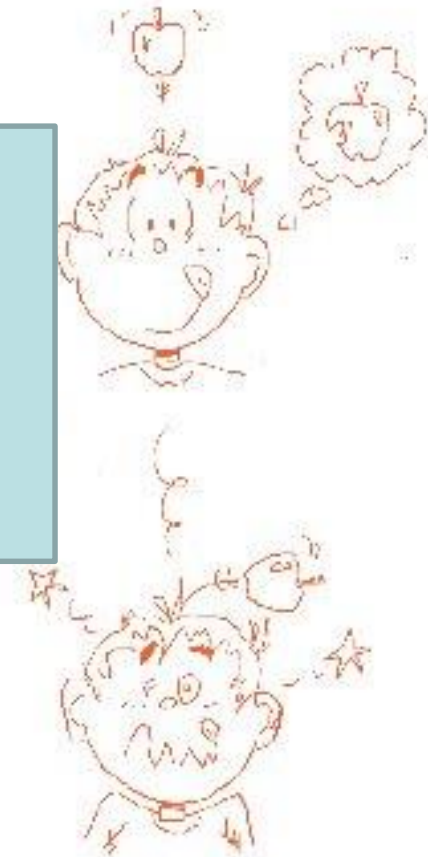
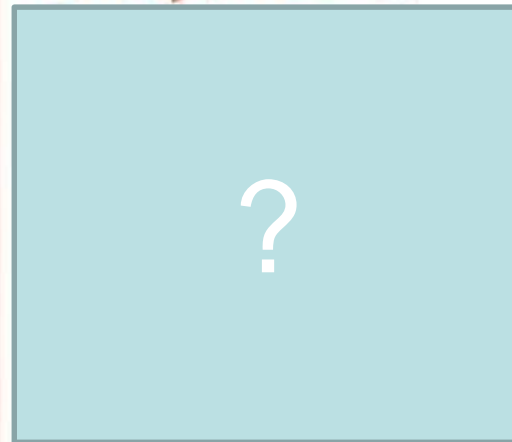
Silne oddziaływania wiążą ze sobą kwarki aby utworzyć protony, neutrony (i inne cząstki). Wiążą one również protony i neutrony w jądra, gdzie pokonują ogromne odpychanie elektryczne pomiędzy protonami.



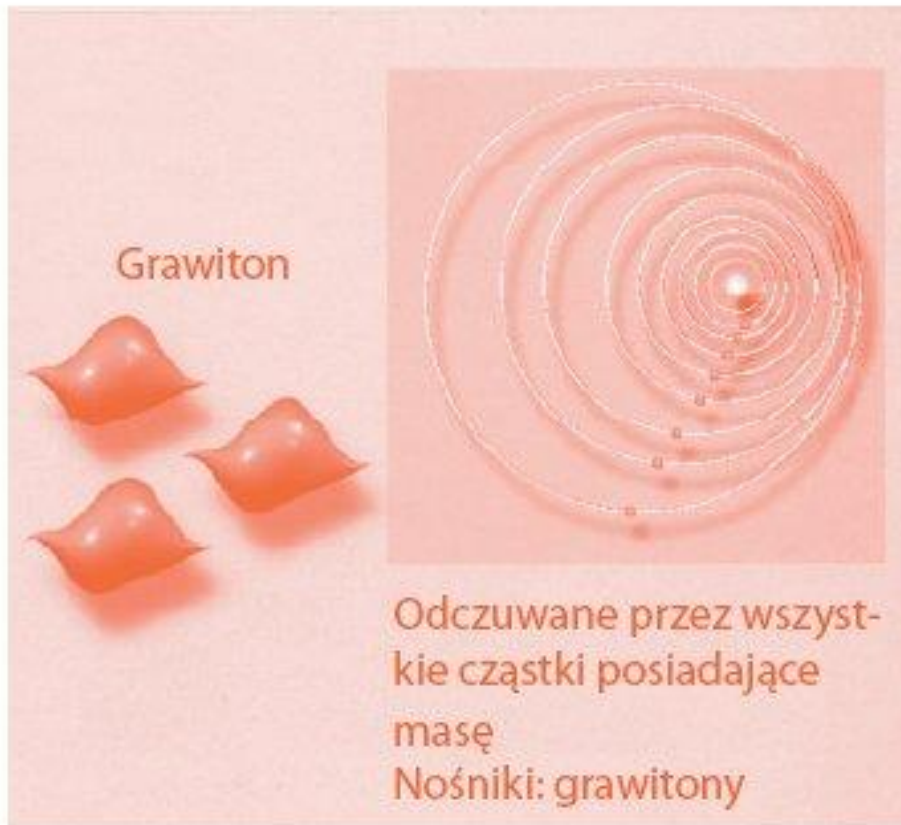
GRAWITACJA



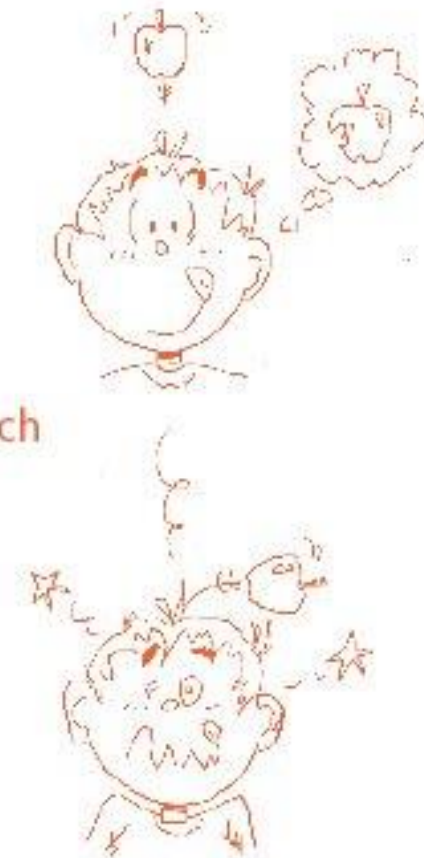
Związane z nimi zjawiska



GRAWITACJA



Związane z nimi zjawiska
Grawitacja powoduje, że jabłko spada na ziemię. Jest to siła przyciągająca. W skali astronomicznej wiąże ona materię w planetach i gwiazdach i łączy gwiazdy w galaktyki.



- Model Standardowy - współczesna teoria cząstek elementarnych

Własności:

- Opisuje trzy spośród czterech oddziaływań: elektromagnetyczne, słabe i silne.
- Nie opisuje oddziaływań grawitacyjnych.
- Zawiera w sobie wcześniejsze teorie:
 - Mechanika kwantowa,
 - Elektrodynamika
 - Teoria oddziaływań słabych
- Ma 19 swobodnych parametrów, których wartości nie wyjaśnia.
- Zgadza się z doświadczeniem do ułamków procenta.

Model Standardowy oddziaływań fundamentalnych

Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0
μ muon	0.106	-1
ν_τ tau neutrino	<0.02	0
τ tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.003	2/3
d down	0.006	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	175	2/3
b bottom	4.3	-1/3

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-22}$ GeV s = 1.05×10^{-34} J s.

Electric charges are given in units of the proton's charge. In SI units the electric charge of the proton is 1.60×10^{-19} coulombs.

The **energy** unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. **Masses** are given in GeV/c² (remember $E = mc^2$), where 1 GeV = 10^9 eV = 1.60×10^{-10} joule. The mass of the proton is 0.938 GeV/c² = 1.67×10^{-27} kg.

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.4	-1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

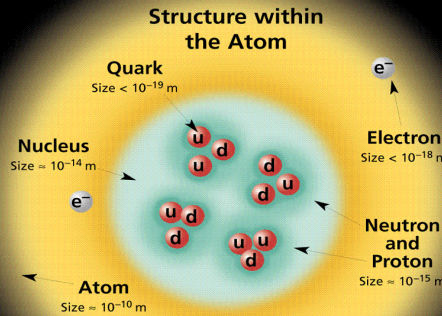
Color Charge
Each quark carries one of three types of "strong charge," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons. Just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and W and Z bosons have no strong interactions and hence no color charge.

Quarks Confined in Mesons and Baryons

One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called **hadrons**. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: **mesons** $q\bar{q}$ and **baryons** qqq .

Residual Strong Interaction

The strong binding of color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual interaction that binds electrically neutral atoms to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.



If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Property	Interaction	Gravitational	Weak	Electromagnetic	Strong	
			(Electroweak)		Fundamental	Residual
Acts on:		Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles experiencing:		All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:		Graviton (not yet observed)	$W^+ W^- Z^0$	γ	Gluons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at:		10^{-41}	0.8	1	25	Not applicable to quarks
	10^{-18} m	10^{-41}	10^{-4}	1	60	Not applicable to hadrons
	3×10^{-17} m	10^{-36}	10^{-7}	1	20	

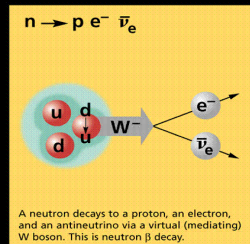
Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Matter and Antimatter

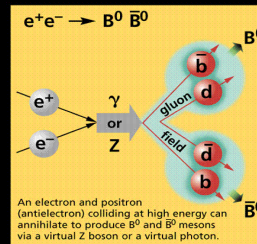
For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0 , γ , and $\eta_c = c\bar{c}$, but not $K^0 = d\bar{s}$) are their own antiparticles.

Figures

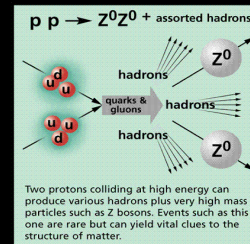
These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are not exact and have no meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, and red lines the quark paths.



A neutron decays to a proton, an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W boson. This is neutron β decay.



An electron and positron (antielectron) colliding at high energy can annihilate to produce B^0 and \bar{B}^0 mesons via a virtual Z boson or a virtual photon.



Two protons colliding at high energy can produce various hadrons plus very high mass particles such as Z bosons. Events such as this one are rare but can yield vital clues to the structure of matter.

The Particle Adventure

Visit the award-winning web feature *The Particle Adventure* at <http://ParticleAdventure.org>

This chart has been made possible by the generous support of:

U.S. Department of Energy
U.S. National Science Foundation
Lawrence Berkeley National Laboratory
Stanford Linear Accelerator Center
American Physical Society, Division of Particles and Fields
BURLE INDUSTRIES, INC.

©2000 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 50-308, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hands-on classroom activities, and workshops, see:

<http://CPEPweb.org>

Model Standardowy oddziaływań fundamentalnych

Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

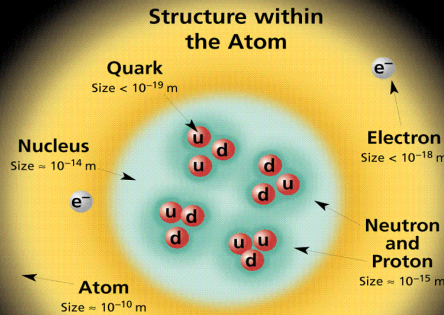
The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of weak and electromagnetic interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions even though not part of the "Standard Model."

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_e electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_μ muon neutrino	<0.0002	0
μ muon	0.106	-1
ν_τ tau neutrino	<0.02	0
τ tau	1.7771	-1

Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.003	2/3
d down	0.006	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	175	2/3
b bottom	4.3	-1/3



If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.39	-1
W^+	80.39	+1
Z^0	91.188	0

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

Higgs Boson spin = 0		
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
H Higgs	126	0

Quarks Confined in Mesons and Baryons

One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called **hadrons**. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons; these are the particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: **mesons** $q\bar{q}$ and **baryons** qqq .

Residual Strong Interaction

The strong binding of color-neutral protons and neutrons to form nuclei is due to residual strong interactions between their color-charged constituents. It is similar to the residual electrical interaction that binds electrically neutral atoms to form molecules. It can also be viewed as the exchange of mesons between the hadrons.

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of \hbar , which is the quantum unit of angular momentum, where $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-27}$ GeV s = 1.05×10^{-34} J s.

Electric charges are given in units of the proton's charge. In SI units the electric charge of the proton is 1.60×10^{-19} coulombs.

The **energy** unit of particle physics is the electronvolt (eV), the energy gained by one electron in crossing a potential difference of one volt. **Masses** are given in GeV/c² (remember $E = mc^2$), where 1 GeV = 10^9 eV = 1.60×10^{-10} joule. The mass of the proton is 0.938 GeV/c² = 1.67×10^{-27} kg.

PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 120 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
\bar{p}	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Property	Interaction	Gravitational	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong	
	Acts on:	Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Fundamental	Residual
Particles experiencing:	All	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Color Charge	See Residual Strong Interaction Note
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	$W^+ W^- Z^0$	γ	Quarks, Gluons	Hadrons	Mesons
Strength relative to electromag for two u quarks at:	10^{-41}	10^{-41}	0.8	1	25	Not applicable to quarks
	3×10^{-17} m	10^{-41}	10^{-4}	1	60	Not applicable to hadrons
	for two protons in nucleus	10^{-36}	10^{-7}	1	Not applicable to hadrons	20

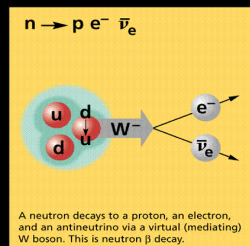
Mesons $q\bar{q}$					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 140 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c ²	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.770	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Matter and Antimatter

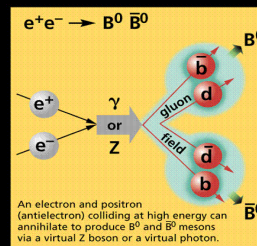
For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (e.g., Z^0 , γ , and $\eta_c = c\bar{c}$, but not $K^0 = d\bar{s}$) are their own antiparticles.

Figures

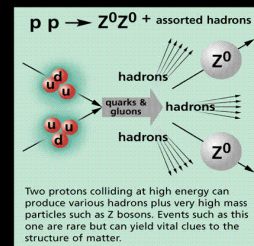
These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are not exact and have no meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, and red lines the quark paths.



A neutron decays to a proton, an electron, and an antineutrino via a virtual (mediating) W boson. This is neutron beta decay.



An electron and positron (antielectron) colliding at high energy can annihilate to produce B^0 and B^0 mesons via a virtual Z boson or a virtual photon.



Two protons colliding at high energy can produce various hadrons plus very high mass particles such as Z bosons. Events such as this one are rare but can yield vital clues to the structure of matter.

The Particle Adventure

Visit the award-winning web feature *The Particle Adventure* at <http://ParticleAdventure.org>

This chart has been made possible by the generous support of:

U.S. Department of Energy
U.S. National Science Foundation
Lawrence Berkeley National Laboratory
Stanford Linear Accelerator Center
American Physical Society, Division of Particles and Fields
BURLE INDUSTRIES, INC.

©2000 Contemporary Physics Education Project. CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 50-308, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hands-on classroom activities, and workshops, see:

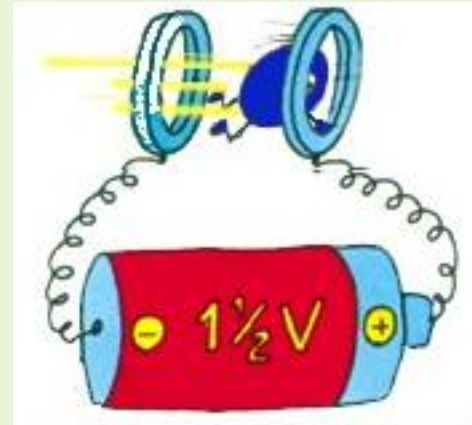
<http://CPEPweb.org>

Kilka przykładów naszej niewiedzy

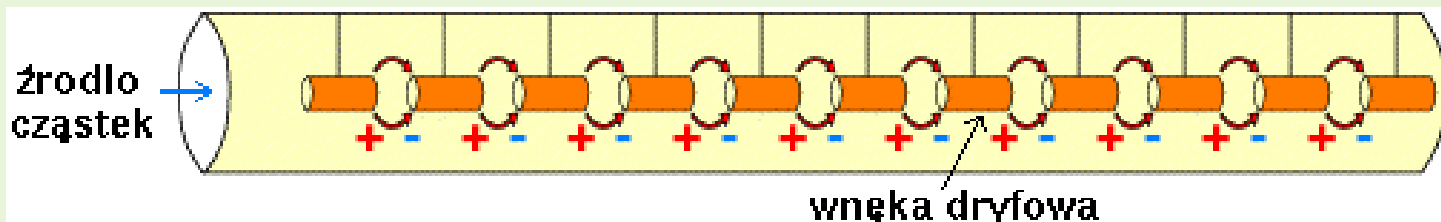
1. Skąd się biorą masy cząstek i czemu są takie – jakie są?
2. Czy istnieje tylko jeden bozon Higgsa?
3. Gdzie się podziała antymateria?
4. Gdzie i czym jest niewidoczna część Wszechświata? („ciemna materia” i „ciemna energia”)
5. Jak formował się wczesny Wszechświat – „gdzie” jest inflaton?
6. Czy istnieją „ukryte” wymiary przestrzeni?
7. Czy istnieją cząstki supersymetryczne?

Akceleratory

Służą do przyspieszania naładowanych cząstek (protonów, elektronów, pozytonów, antyprotonów)



Jednostka energii: elektronowolt $1\text{eV} = 1.6 \cdot 10^{-19}\text{J}$



CERN i LHC

Jezioro
Genewskie

Lotnisko
w Genewie

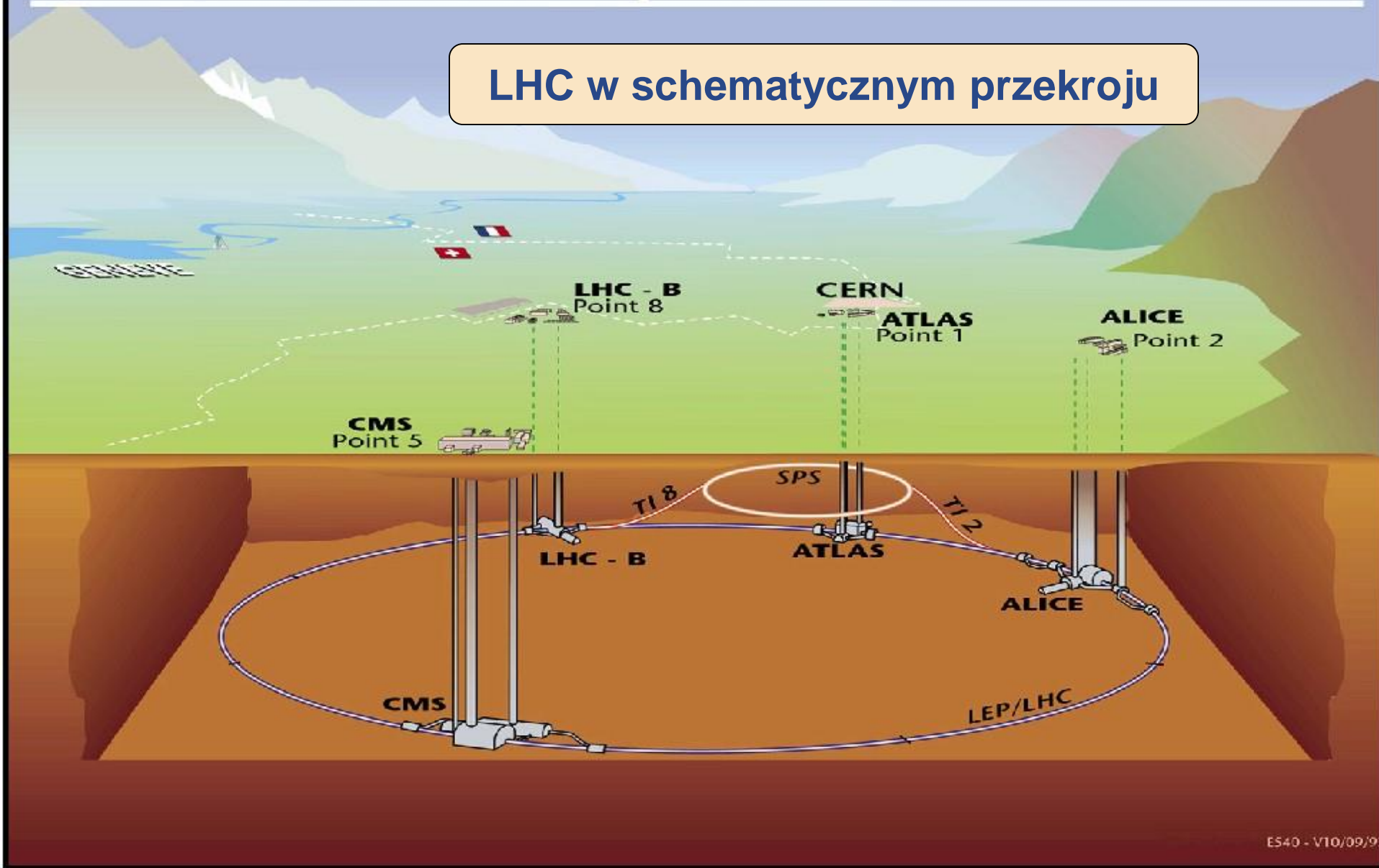
tunel LHC
(długość 27 km, ok.100m
pod powierzchnią ziemi)

Cząstka Higgsa - droga do teorii wszystkiego

CERN/Meyrin

Overall view of the LHC experiments.

LHC w schematycznym przekroju

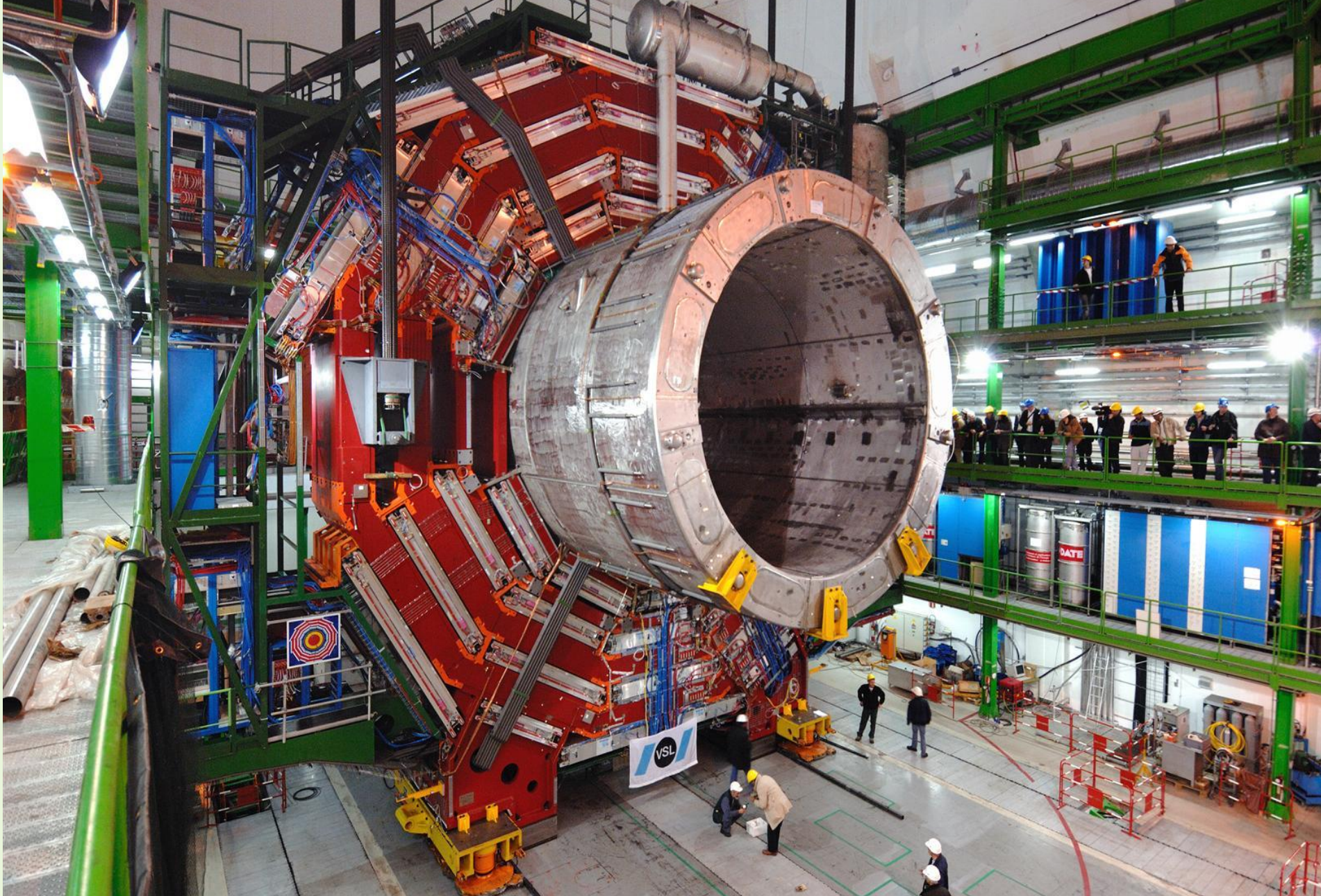


ES40 - V10/09/91



LHC - Large Hadron Collider (Wielki Zderzacz Hadronów)

Długość obwodu tunelu akceleratora	26 659 m
Średnia głębokość tunelu akceleratora	100 m
Energia protonów w wiązce	7 TeV
Prędkość protonów w wiązce	0,999999991 c
Liczba obiegów protonu w akceleratorze na sekundę	11 245
Liczba zderzeń cząstek	600 mln/s
Liczba rejestrowanych zderzeń	100/s
Liczba elektromagnesów akceleratora	9 593
Indukcja pola magnetycznego w elektromagnesach dipolowych	8,3 T
Temperatura obwodów nadprzewodzących w tych elektromagnesach	1,9 K
Ciśnienie w rurze wiązki	10^{-13} atm
Koszt akceleratora	4,98 mld CHF
Koszt detektorów i gridu (w CERN)	1,53 mld CHF
Decyzja 1994, rozpoczęcie 1998, rozpoczęcie budowy 1998, uruchomienie 2008	



Cząstka Higgsa - droga do teorii wszystkiego

Teoria oddziaływań słabych

- Elektrodynamika kwantowa wspaniale opisuje oddziaływania pomiędzy naładowanymi cząstkami
- Fotony „przenoszą” oddziaływania
- Oddziaływania są długo-zasięgowe ponieważ fotony nie mają masy (mają masę = 0)
- Oddziaływania słabe powinny mieć skończony zasięg, zatem muszą być „przenoszone” przez cząstki o skończonej (niezerowej) masie

Jak zachować piękno (symetrię) elektrodynamiki kwantowej, a jednocześnie zbudować teorię z masywnymi „fotonami”?

LHC i odkrycie cząstki Higgsa na drodze do „teorii wszystkiego”

Mechanizm generowania masy został zaproponowany przez w latach 60-tych przez F. Englerta i R. Brouta, P.W. Higgsa, i G. Guralnika, C. Hagen, i T. Kibblea. Wymagał on wprowadzenia (postulowania) nowego pola (Higgsa) i cząstek (Higgsa).



Kolejno od lewej: Kibble, Guralnik, Hagen, Englert i Brout. Po prawej Peter Higgs

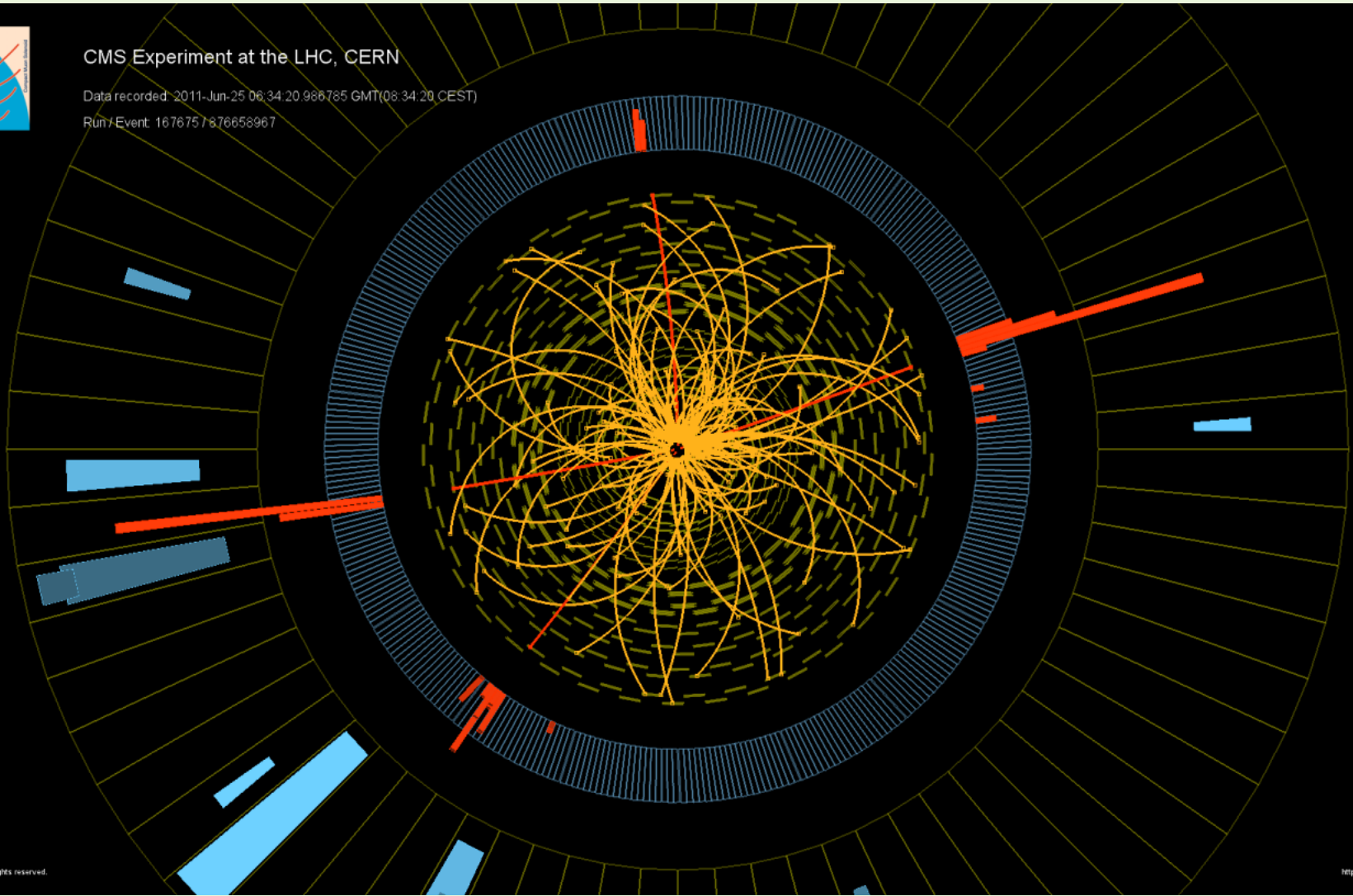
LHC i odkrycie cząstki Higgsa na drodze do „teorii wszystkiego”



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2011-Jun-25 06:34:20.986785 GMT(08:34:20 CEST)

Run / Event: 167675 / 876658967



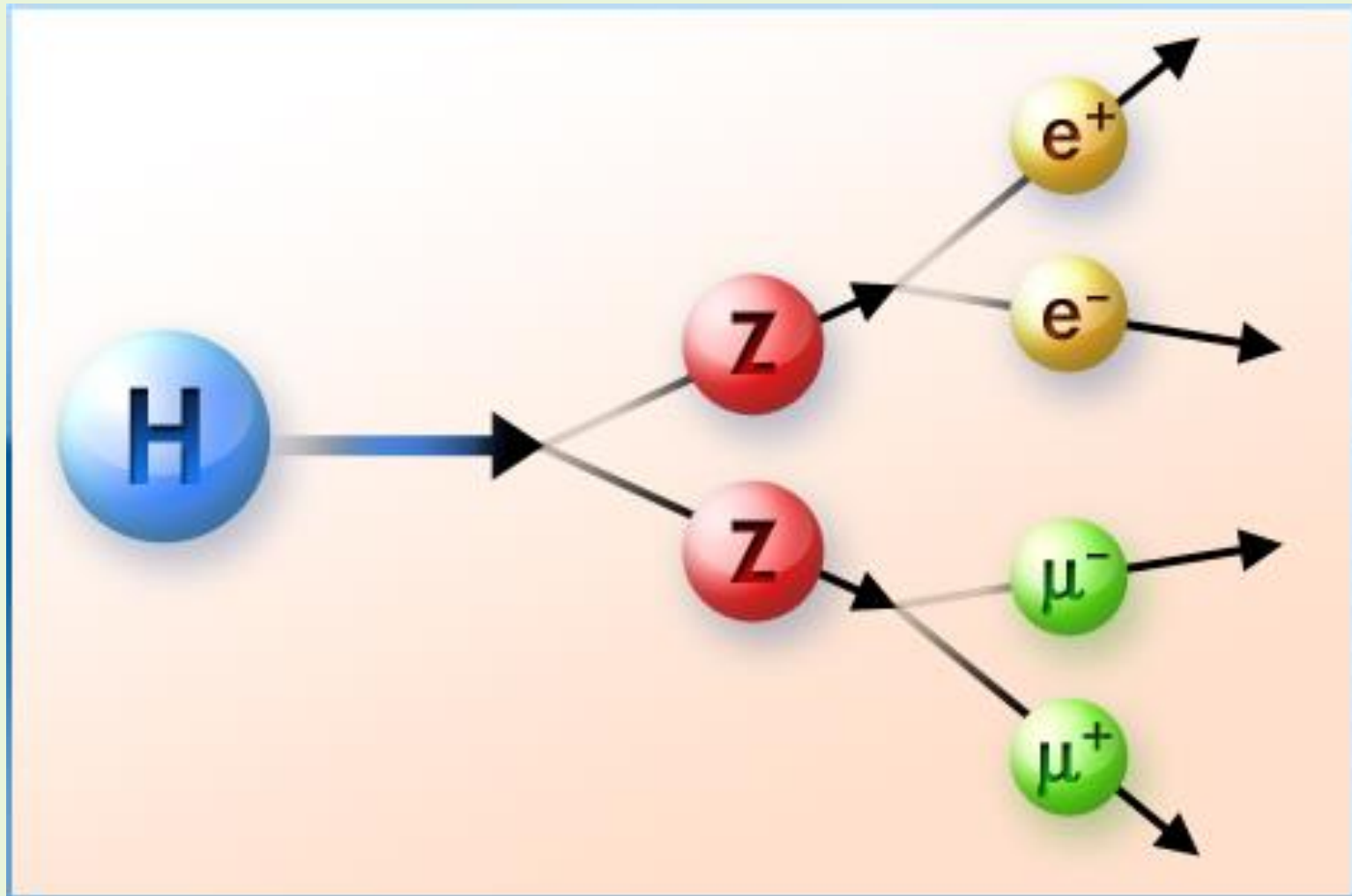
© CERN 2011. All rights reserved.

<http://figura.cern.ch/ftpy>

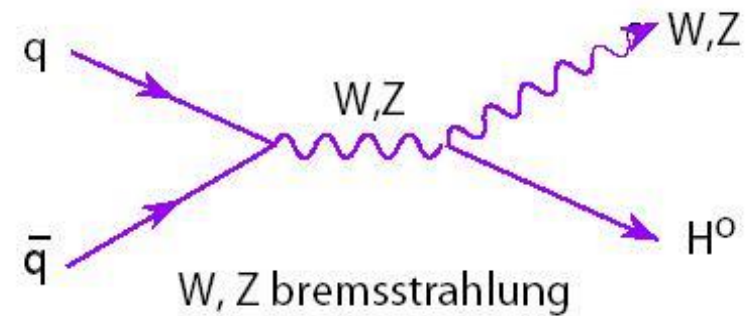
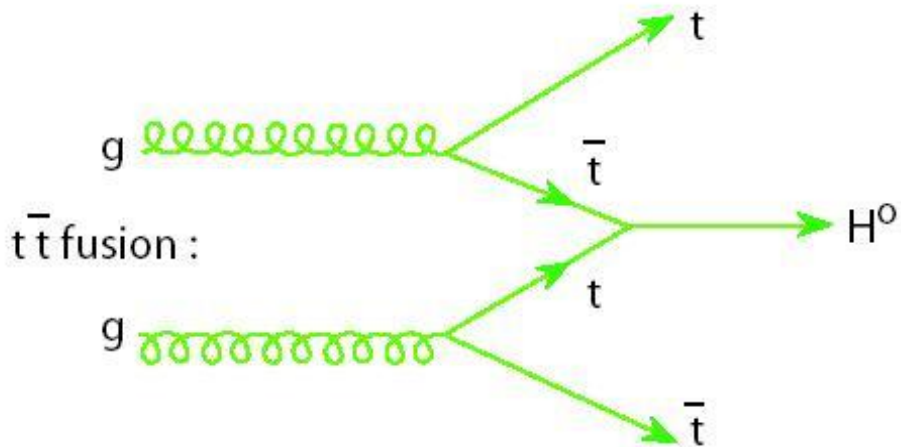
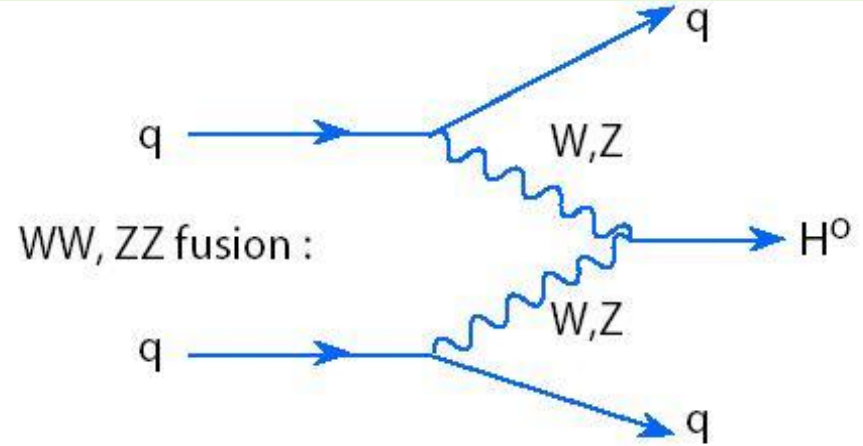
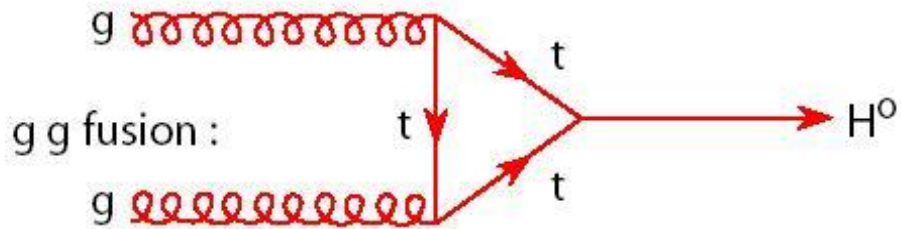
Produkcja cząstki Higgsa i jej rozpad $h \rightarrow ZZ \rightarrow e^+e^-e^+e^-$

Cząstka Higgsa - droga do teorii wszystkiego

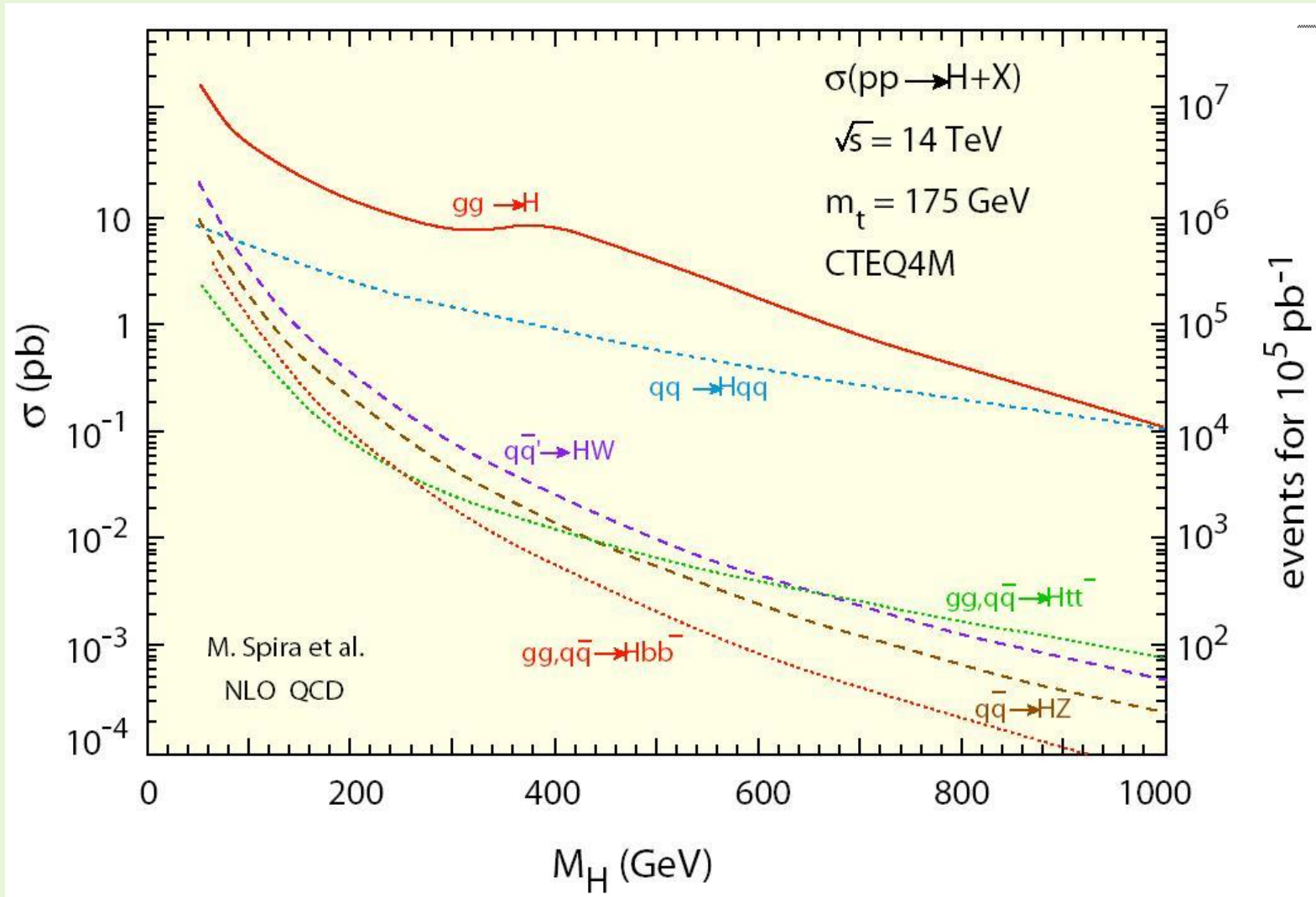
LHC i odkrycie cząstki Higgsa na drodze do „teorii wszystkiego”



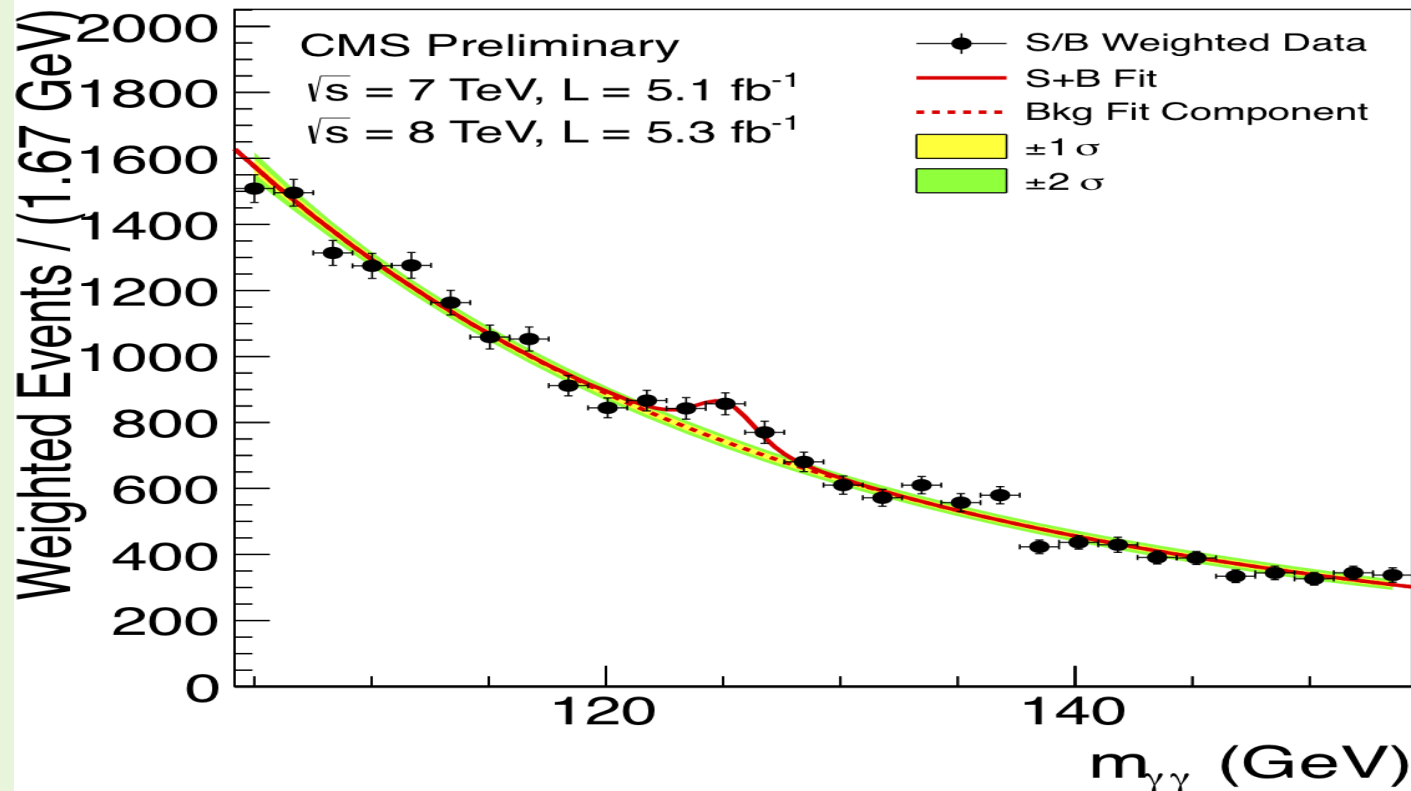
LHC i odkrycie cząstki Higgsa na drodze do „teorii wszystkiego”



LHC i odkrycie cząstki Higgsa na drodze do „teorii wszystkiego”



LHC i odkrycie cząstki Higgsa na drodze do „teorii wszystkiego”



Zaobserwowane przez CMS w roku 2011 i 2012 przypadki rozpadów cząstki Higgsa (odpowiednio znormalizowane) na parę fotonów, $H \rightarrow \gamma\gamma$, w funkcji masy niezmienniczej $\gamma\gamma$. Przerwana czerwona linia oznacza przewidywanie w przypadku nieistnienia cząstki Higgsa. W okolicy masy 125 GeV widać wyraźne wzmocnienie sygnału znacznie przewyższające błędy doświadczalne. Obraz otrzymany dzięki uprzejmości CERN (Copyright by CERN).

8 October 2013

The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the
Nobel Prize in Physics for 2013 to

François Englert
Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium

and

Peter W. Higgs
University of Edinburgh, UK

“for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN’s Large Hadron Collider”

LHC i odkrycie cząstki Higgsa na drodze do „teorii wszystkiego”

1. Skoro istnieje wiele fermionów (kwarki, leptony) oraz wiele bozonów wektorowych (fotony, W, Z, gluony), to czy bozon Higgsa może być tylko jeden?
2. Czy cząstka Higgsa może być inflatonem odpowiedzialnym za inflację kosmologiczną?
3. Czy inne cząstki typu bozonu Higgsa mogą być ciemną materią?
4. Czy Model Standardowy jest ostateczną teorią oddziaływań fundamentalnych?

Jest bardzo prawdopodobne, że rozwiązanie problemów współczesnej kosmologii pozwoli „przy okazji” znaleźć „ostateczną” teorię oddziaływań fundamentalnych
- teorię wszystkiego -

Zagadki kosmologii

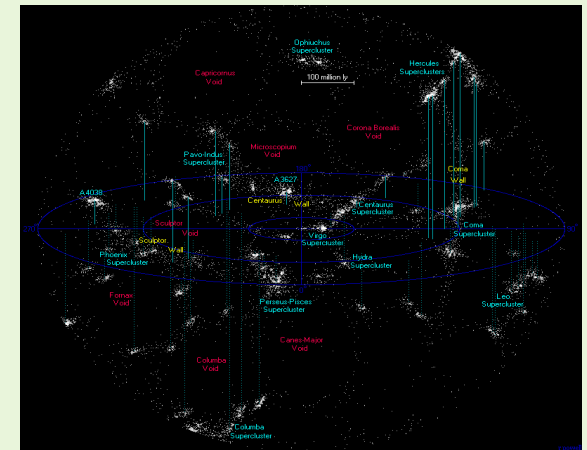
Kosmologia to nauka o strukturze
i ewolucji (zmienności w czasie) Wszechświata

Obserwacje w kosmologii:

- Jednostki: 1 pc (parsek) \approx 3, 26 roku świetlnego \approx $3,09 \cdot 10^{16}$ m
- Gwiazdy: Słońce typowa gwiazda
- Galaktyki: skupiska gwiazd, Droga Mleczna zawiera 10^{11} gwiazd, rozmiar \sim 30 Kpc
- Gromady galaktyk, rozmiar 1-10 Mpc
- Supergromady,
- Pustki, skala 10-50 Mpc

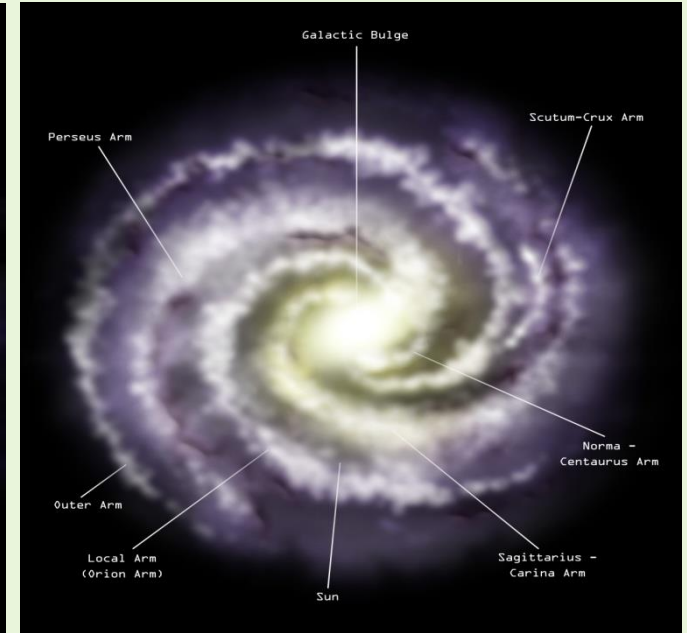
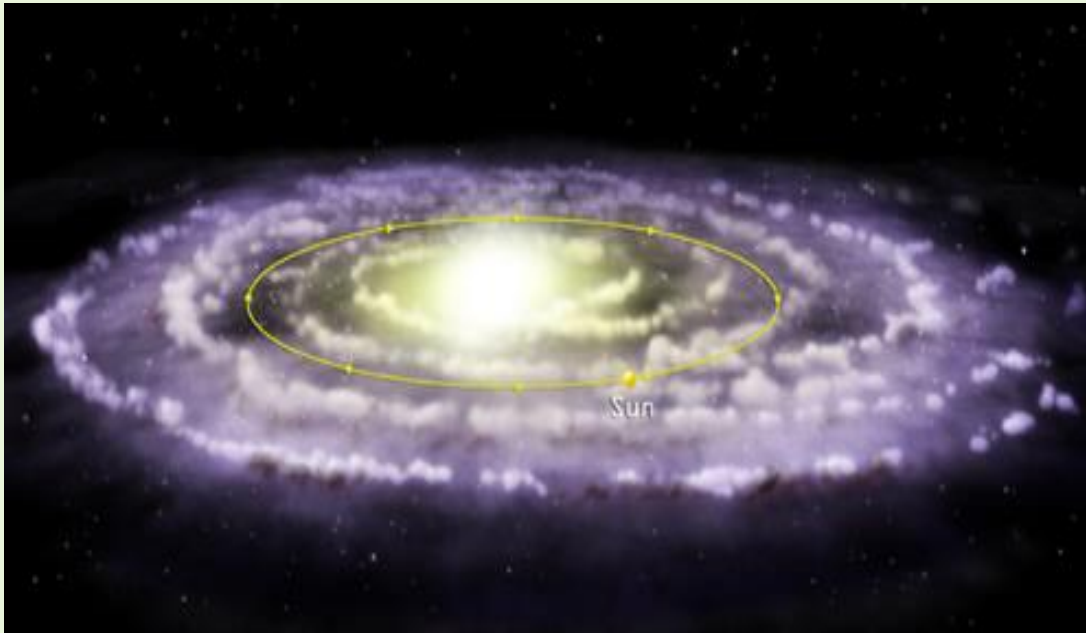


Galaktyka NGC 6744



Wszechświat do odległości 200 mln lat świetlnych

Zagadki kosmologii

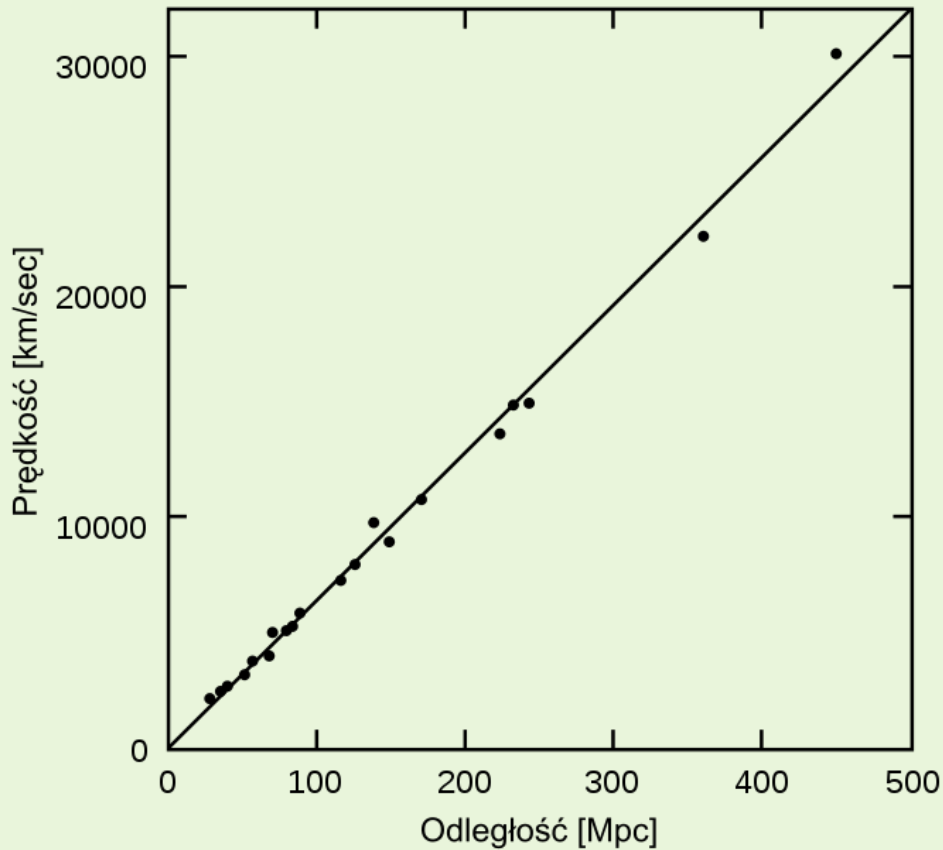


- Droga Mleczna (nasza galaktyka) jest typową galaktyką jakich we Wszechświecie jest bardzo dużo.
- W skali setek megaparseków Wszechświat zaczyna wyglądać jednorodnie



Zasada kosmologiczna (zasada kopernikańska): wszechświat wygląda tak samo niezależnie od tego gdzie się znajdujemy i w którą stronę patrzymy

Zagadki kosmologii



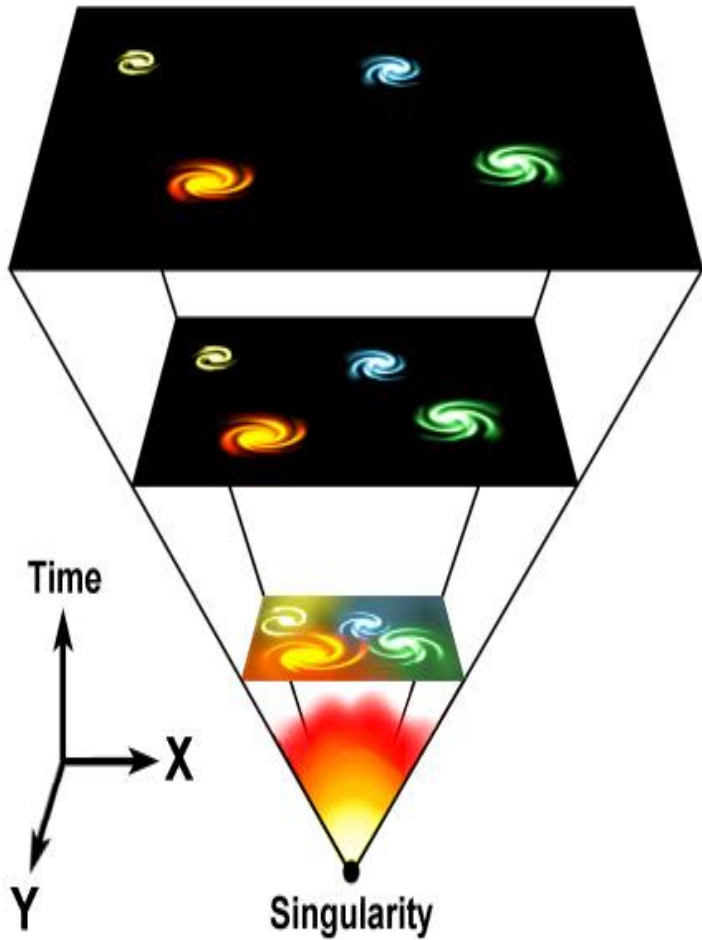
Prawo Hubble'a (1929):

$$V = H L$$

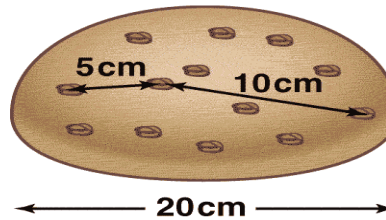
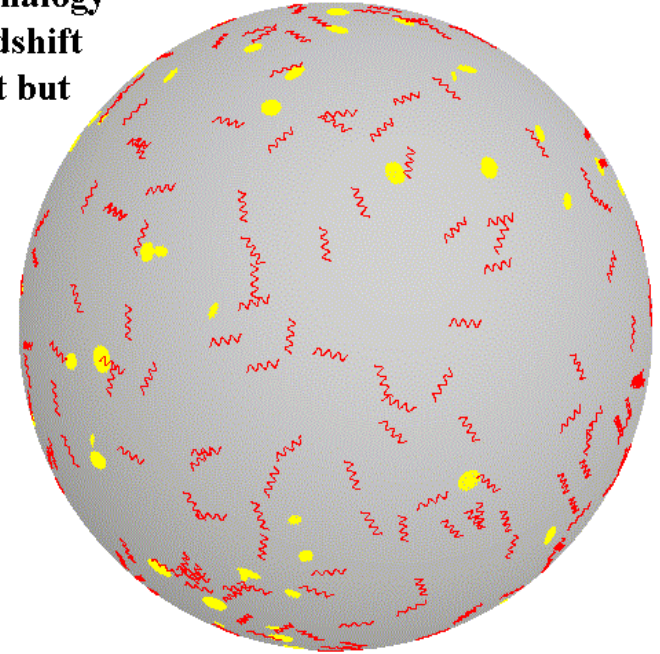
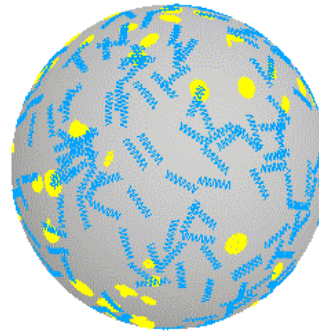
$$H = 70 \text{ km/s/Mpc}$$

Wyniki pomiarów prędkości ucieczki galaktyk w zależności od ich odległości, punkty oznaczają galaktyki

Zagadki kosmologii



Expanding Balloon Analogy
Photons move and redshift
Galaxies spread apart but stay the same size



MAP990404



Prawo Hubble'a + Zasada Kosmologiczna + Termodynamika



- Istniała pierwotna osobliwość (Big Bang)
- Temperatura we Wszechświecie maleje

Zagadki kosmologii



Kosmologia:

1. Zasada kosmologiczna (jednorodność, izotropowość)
2. Ogólna teoria względności  równanie Friedmanna
 Prawo Hubble'a (rozszerzanie się Wszechświata)
3. Termodynamika

Sukcesy:

1. ?
2. ?
3. ?



Kosmologia:

1. Zasada kosmologiczna (jednorodność, izotropowość)
2. Ogólna teoria względności  równanie Friedmanna
 Prawo Hubble'a (rozszerzanie się Wszechświata)
3. Termodynamika

Sukcesy:

1. Obserwowane rozszerzanie się Wszechświata (obserwacje Hubble'a)
2. ?
3. ?



Kosmologia:

1. Zasada kosmologiczna (jednorodność, izotropowość)
2. Ogólna teoria względności  równanie Friedmanna
 Prawo Hubble'a (rozszerzanie się Wszechświata)
3. Termodynamika

Sukcesy:

1. Obserwowane rozszerzanie się Wszechświata (obserwacje Hubble'a)
2. Obserwacja kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła (CMBR)
3. ?

Kosmologia:

1. Zasada kosmologiczna (jednorodność, izotropowość)
2. Ogólna teoria względności  równanie Friedmanna
 Prawo Hubble'a (rozszerzanie się Wszechświata)
3. Termodynamika

Sukcesy:

1. Obserwowane rozszerzanie się Wszechświata (obserwacje Hubble'a)
2. Obserwacja kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła (CMBR)
3. Zgodność przewidywań teorii (nukleosynteza) z obserwowanym występowaniem lekkich pierwiastków

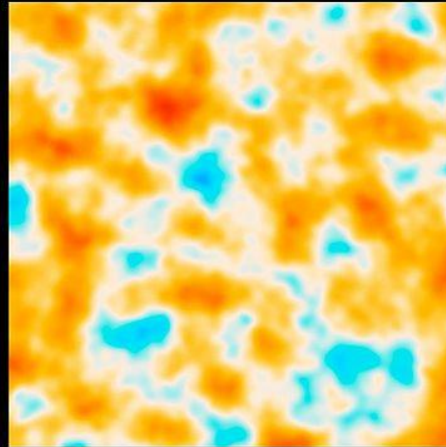
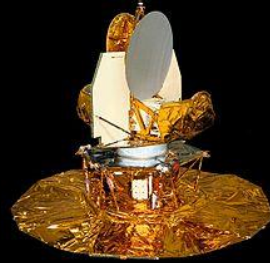
Kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła (promieniowanie reliktowe):

- Promieniowanie elektromagnetyczne wypełniające przestrzeń Wszechświata. Zmierzone po raz pierwszy przez A.A. Penziasa i R.W. Wilsona w 1956.
- Jest pozostałością promieniowania, wyemitowanego we wczesnym etapie ewolucji Wszechświata w okresie rekombinacji (powstanie neutralnych atomów). Zostało wyemitowane, gdy Wszechświat miał około 380 000 lat.
- W 1992 amer. satelita COBE (Cosmic Background Explorer), potwierdził bardzo dobrą zgodność widma promieniowania relikтового z widmem ciała doskonale czarnego o temp. 2,73 K, jak również wykrył znikome odchylenia od idealnej izotropowości tego promieniowania (ściślej — słabe fluktuacje temperatury w skali jednego stopnia).
- 2003 satelita WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe).
- 2013 satelita Planck
- marzec 2014 eksperyment BICEP2 (Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization) obserwacja polaryzacji promieniowania tła

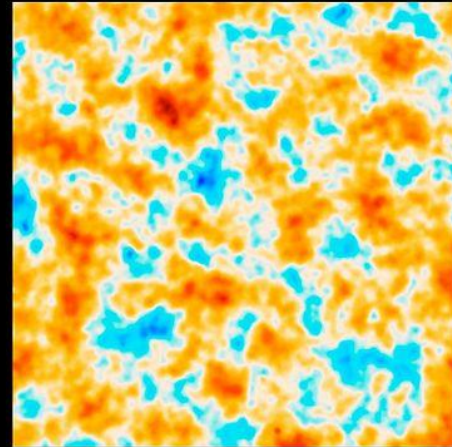
Zagadki kosmologii



COBE



WMAP



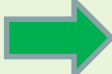
Planck

Cząstka Higgsa - droga do teorii wszystkiego

Zagadki kosmologii

Trudności:

- Problem horyzontu - Wszechświat wygląda tak samo nawet w miejscach, które nigdy nie miały ze sobą związku przyczynowego (nie było w przeszłości) między nimi żadnego kontaktu)
- Problem płaskości
- Czym jest Ciemna Materia?
- Czym jest Ciemna Energia?
- Asymetria barionowa: czemu nie ma antymaterii?

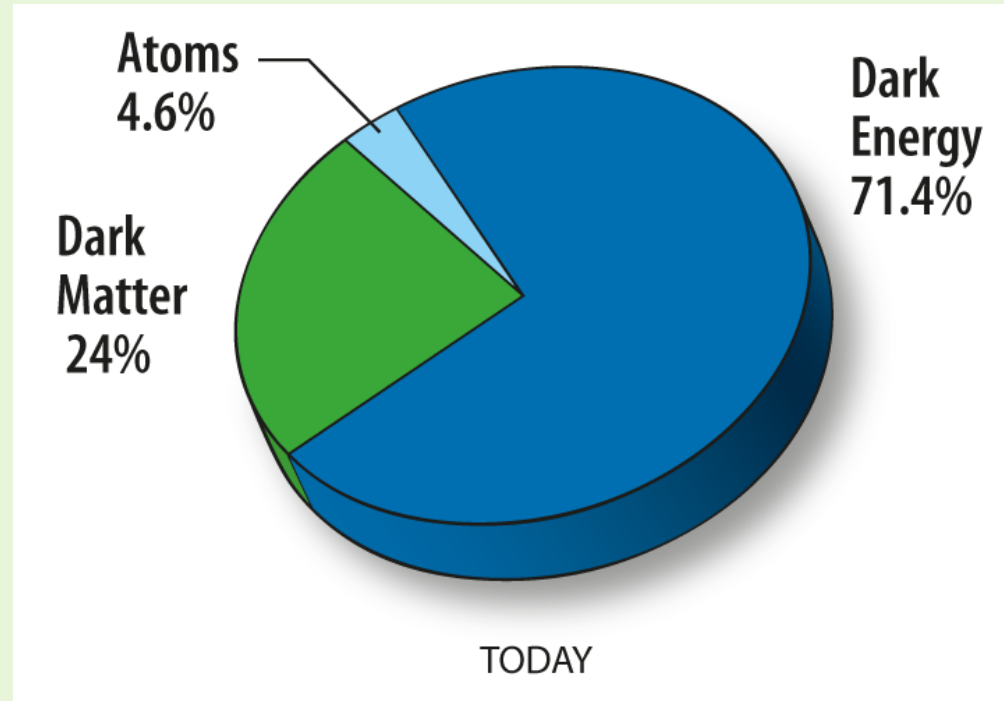
Problem horyzontu  Inflacyjna ekspansja, początkowy okres w ewolucji Wszechświata, podczas którego zachodzi BARDZO szybkie rozszerzanie się Wszechświata.



Co spowodowało inflację?

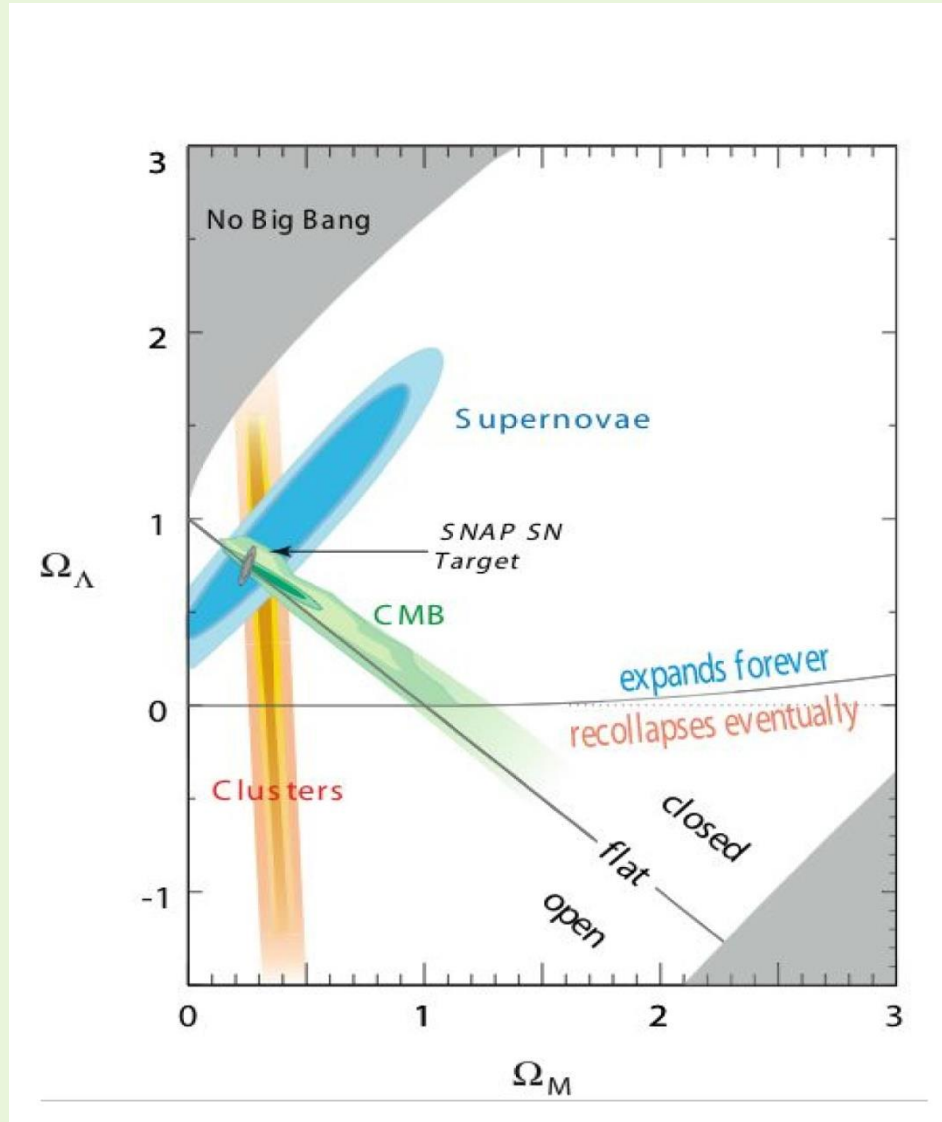
Zagadki kosmologii

Ciemna Materia – materia nieemitująca i nieodbijająca światła, której istnienie zdradzają jedynie wywierane przez nią efekty grawitacyjne. Potwierdzenie obserwacyjne: krzywe rotacji, powstawanie galaktyk i gromad, rozpraszanie gromad (soczewkowanie grawitacyjne).



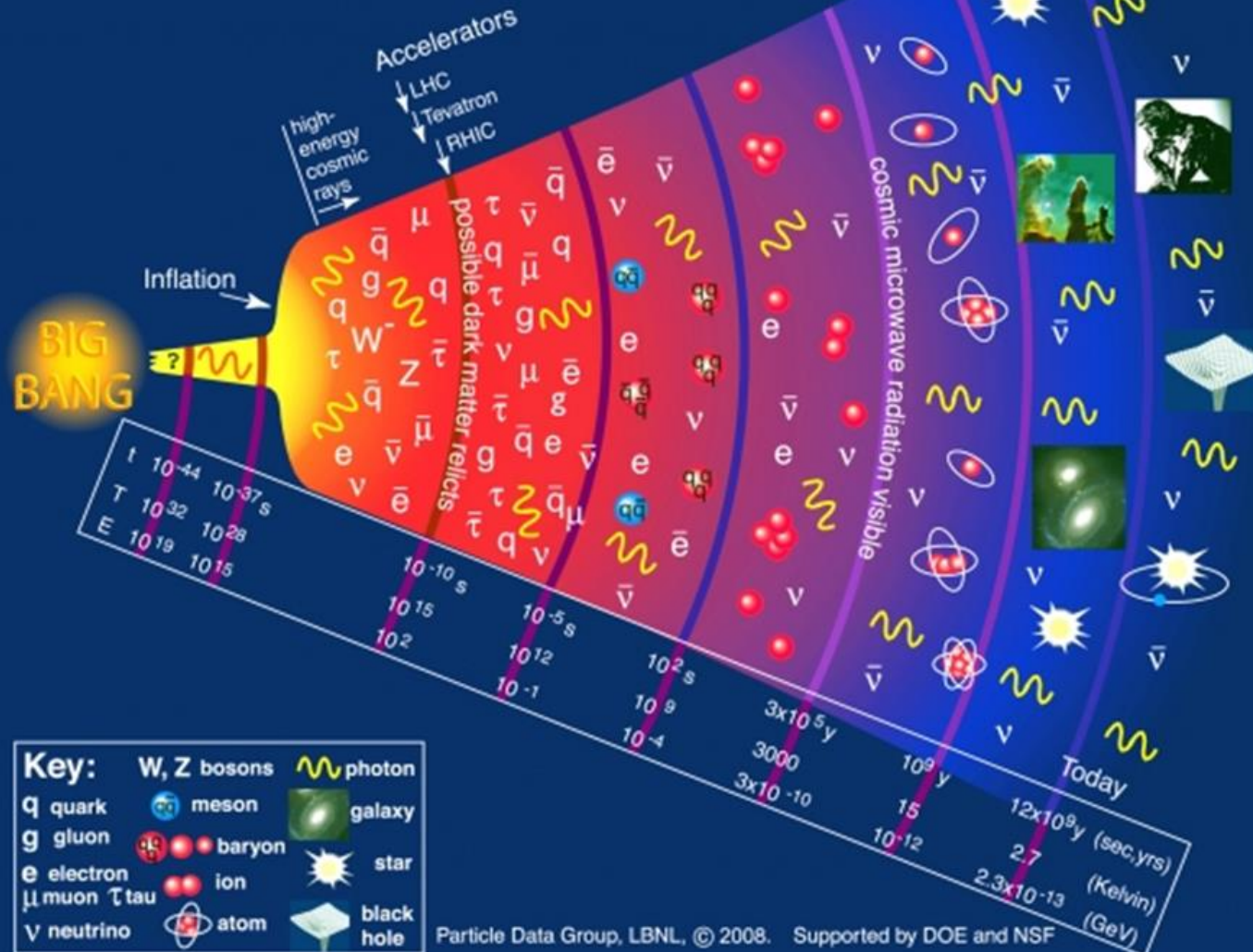
Ciemna energia – hipotetyczna forma energii, która wypełnia całą przestrzeń i wywiera na nią ujemne ciśnienie, wywołując rozszerzanie się Wszechświata. Wprowadzona w celu wyjaśnienia przyspieszania ekspansji kosmosu.

Zagadki kosmologii



Cząstka Higgsa - droga do teorii wszystkiego

History of the Universe



Zagadki kosmologii


Rozwiązania trudności współczesnej kosmologii:

- **Problem horyzontu** → Inflacja, powodowana istnieniem hipotetycznych cząstek (inflatonów) mogły to być np. **neutralne cząstki skalarne (takie jak np. π^0 , lub bozon Higgsa)**
- **Ciemna Materia** → Hipotetyczne cząstki oddziałujące nieomal wyłącznie grawitacyjnie: neutralina (SUSY), **neutralne cząstki skalarne (takie jak np. π^0 , lub bozon Higgsa)**
- **Ciemna energia** → Hipotetyczne cząstki (pole kwintesencji), np. **neutralne cząstki skalarne (takie jak np. π^0 , lub bozon Higgsa)**, lub hipotetyczna forma energii – stała kosmologiczna Λ jest to wyraz, który można dodać do równania pola w ogólnej teorii względności Einsteina:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu} = -8\pi \frac{G}{c^4}T_{\mu\nu} = -\kappa T_{\mu\nu}$$

Jest ona niezależna od czasu i przestrzeni. Stałą tę wprowadził Einstein, który był przekonany o statycznym Wszechświecie, później jej wprowadzenie nazwał największą pomyłką swojego życia.

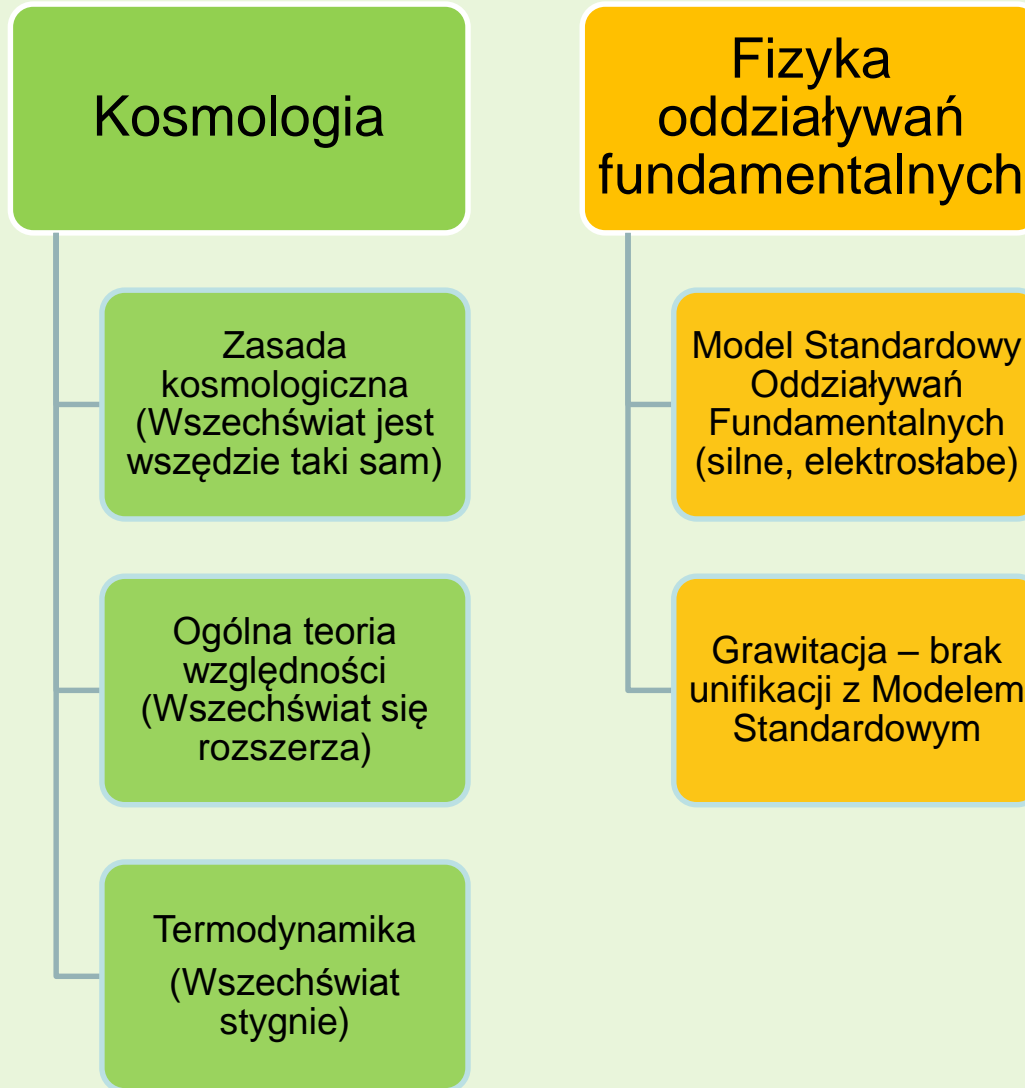
Zagadki kosmologii

- **Asymetria barionowa** (wspólny problem kosmologii i fizyki cząstek)  Może zostać wyjaśniony istnieniem i odpowiednim oddziaływaniem hipotetycznych cząstek, mogły to być np. **neutralne cząstki skalarne** (takie jak np. π^0 , lub bozon Higgsa)

Najpopularniejsze rozwiązania trudności współczesnej kosmologii sugerują istnienie hipotetycznych, dotychczas nieobserwowanych cząstek elementarnych, np. mogą to być **neutralne cząstki skalarne** (takie jak np. π^0 , lub bozon Higgsa)

Kosmologia  **Fizyka cząstek elementarnych**

Podsumowanie



Podsumowanie

