

# FYZIKÁLNY OBRAZ SVETA

PO

## 20-TICH MESIACHOCH S LHC

*M. Gintner*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Žilina U.

<sup>2</sup> IEAP CTU Prague

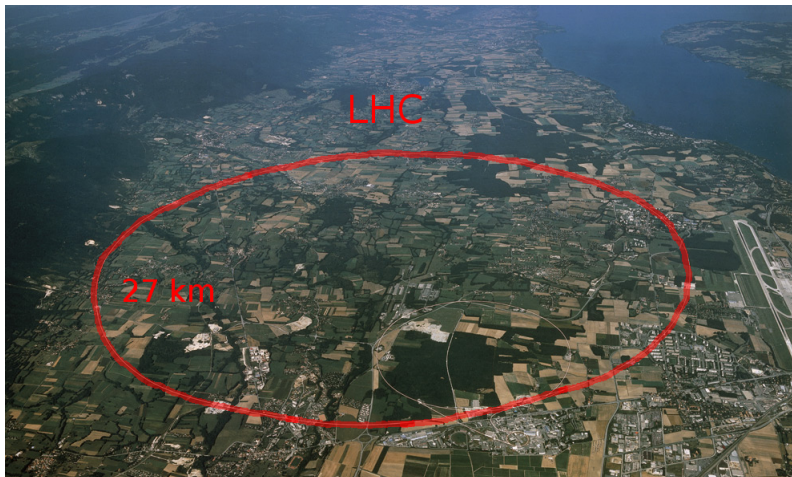
UMB Dec 6, 2011

*Banskobystrický matematický seminár*  
*Aká si mi krásna...*

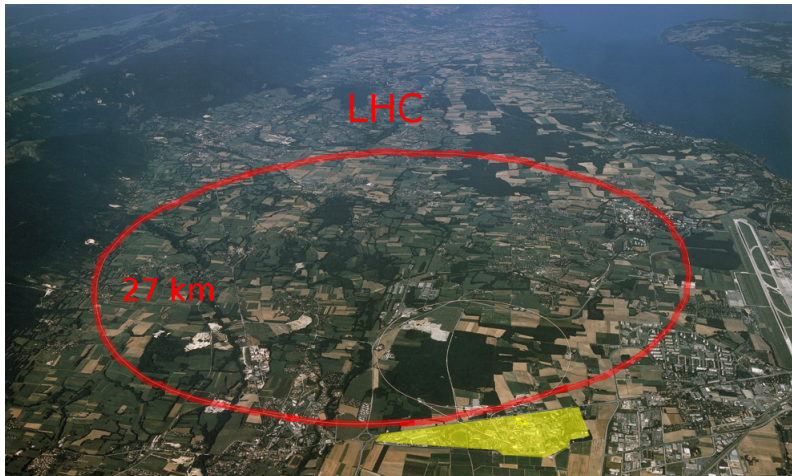
# LARGE HADRON COLLIDER



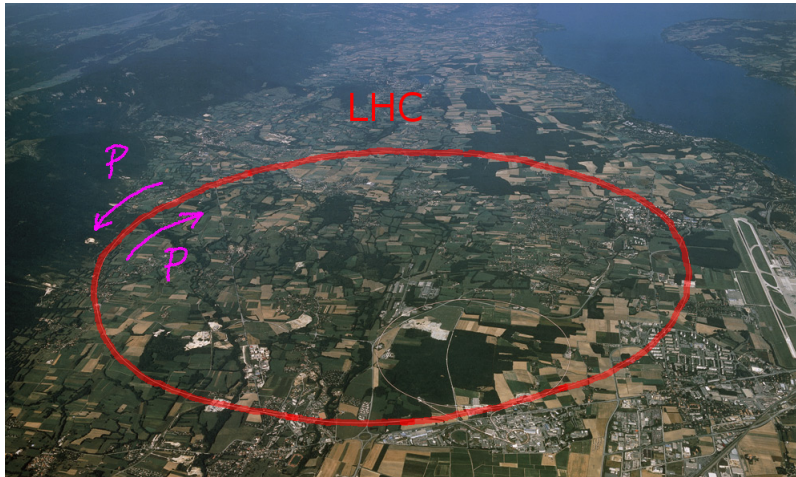
# LARGE HADRON COLLIDER



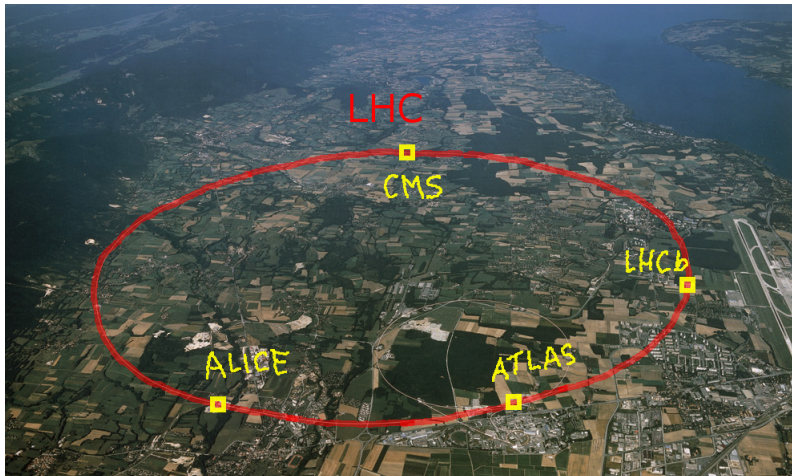
# LARGE HADRON COLLIDER



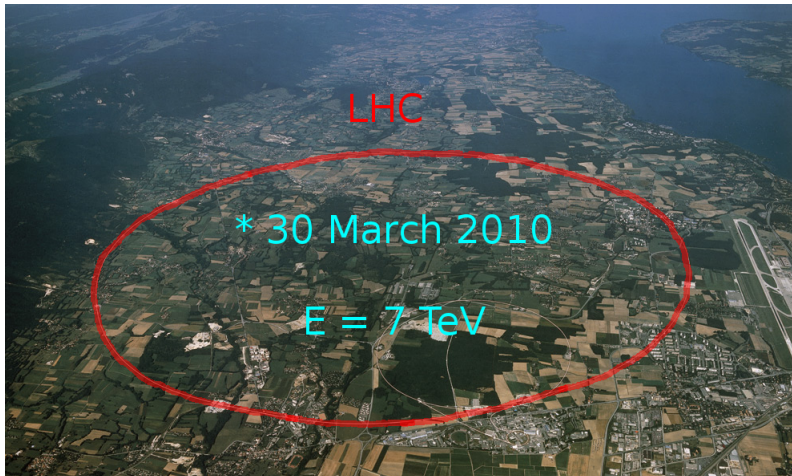
# LARGE HADRON COLLIDER



# LARGE HADRON COLLIDER



# LARGE HADRON COLLIDER



# OBSAH

- 1 RÝCHLA CESTA DO PREDNEJ LÍNIE
- 2 NEPOLAPITEL'NÝ HIGGS
- 3 PREKVAPENIE V OPERE



# OBSAH

- 1 RÝCHLA CESTA DO PREDNEJ LÍNIE
- 2 NEPOLAPITEL'NÝ HIGGS
- 3 PREKVAPENIE V OPERE

# ZÁKLADNÁ OTÁZKA FYZIKY

- fyzikálny systém
- stav  $\longrightarrow$  fyzikálne veličiny
- časový vývoj  $\longrightarrow$  pohybová rovnica

# ZÁKLADNÁ OTÁZKA FYZIKY

- fyzikálny systém

- stav → fyzikálne veličiny

- časový vývoj → pohybová rovnica

# ZÁKLADNÁ OTÁZKA FYZIKY

- fyzikálny systém
- **stav** → fyzikálne veličiny
- časový vývoj → pohybová rovnica

# ZÁKLADNÁ OTÁZKA FYZIKY

- fyzikálny systém
- stav  $\longrightarrow$  fyzikálne veličiny
- časový vývoj  $\longrightarrow$  pohybová rovnica

# ZÁKLADNÁ OTÁZKA FYZIKY

- fyzikálny systém

*hmotný bod*

- stav → fyzikálne veličiny

- časový vývoj → pohybová rovnica

# ZÁKLADNÁ OTÁZKA FYZIKY

- fyzikálny systém

*hmotný bod*

- stav → fyzikálne veličiny

*poloha, rýchlosť, ...*

- časový vývoj → pohybová rovnica

# ZÁKLADNÁ OTÁZKA FYZIKY

- fyzikálny systém

*hmotný bod*

- stav → fyzikálne veličiny

*poloha, rýchlosť, ...*

- časový vývoj → pohybová rovnica

$$m \frac{d^2 \vec{x}}{dt^2} = \vec{F}(\vec{x}, \vec{v}, t)$$



# SYMETRIE VO FYZIKE

## FYZIKÁLNE SYMETRIE

# SYMETRIE VO FYZIKE

## FYZIKÁLNE SYMETRIE

- transformácie, ktoré nemenia tvar pohybovej rovnice
- transformované riešenie je tiež riešenie
- grupa spojitých symetrií  $\Rightarrow$  zákony zachovania

rotačná symetria



$ZZ$  momentu hybnosti

# SYMETRIE VO FYZIKE

## FYZIKÁLNE SYMETRIE

- transformácie, ktoré nemenia tvar pohybovej rovnice
- transformované riešenie je tiež riešenie
- grupa spojitých symetrií  $\Rightarrow$  zákony zachovania

rotačná symetria



ZZ momentu hybnosti

# SYMETRIE VO FYZIKE

## FYZIKÁLNE SYMETRIE

- transformácie, ktoré nemenia tvar pohybovej rovnice
- transformované riešenie je tiež riešenie
- grupa spojitých symetrií  $\Rightarrow$  zákony zachovania

rotačná symetria

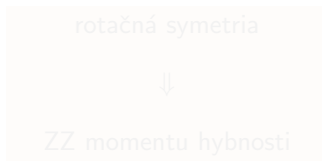
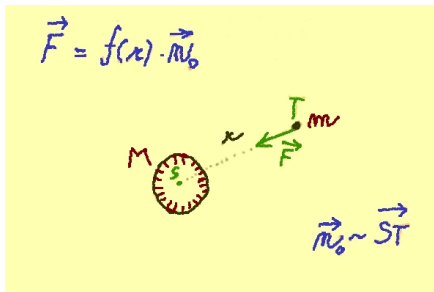


ZZ momentu hybnosti

# SYMETRIE VO FYZIKE

## FYZIKÁLNE SYMETRIE

- transformácie, ktoré nemenia tvar pohybovej rovnice
- transformované riešenie je tiež riešenie
- grupa spojitých symetrií  $\Rightarrow$  zákony zachovania

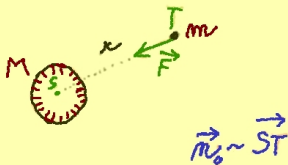


# SYMETRIE VO FYZIKE

## FYZIKÁLNE SYMETRIE

- transformácie, ktoré nemenia tvar pohybovej rovnice
- transformované riešenie je tiež riešenie
- grupa spojitých symetrií  $\Rightarrow$  zákony zachovania

$$\vec{F} = f(x) \cdot \vec{m}_0$$



rotačná symetria



ZZ momentu hybnosti

# ČASOPRIESTOROVÉ SYMETRIE

- posunutia v čase  $\longrightarrow$  ZZ energie
- posunutia v priestore  $\longrightarrow$  ZZ hybnosti
- rotácie v priestore  $\longrightarrow$  ZZ momentu hybnosti

# ČASOPRIESTOROVÉ SYMETRIE

- posunutia v čase  $\longrightarrow$  ZZ energie
- posunutia v priestore  $\longrightarrow$  ZZ hybnosti
- rotácie v priestore  $\longrightarrow$  ZZ momentu hybnosti



# ČASOPRIESTOROVÉ SYMETRIE

- posunutia v čase  $\longrightarrow$  ZZ energie
- posunutia v priestore  $\longrightarrow$  ZZ hybnosti
- rotácie v priestore  $\longrightarrow$  ZZ momentu hybnosti

# ČASOPRIESTOROVÉ SYMETRIE

- posunutia v čase  $\longrightarrow$  ZZ energie
- posunutia v priestore  $\longrightarrow$  ZZ hybnosti
- rotácie v priestore  $\longrightarrow$  ZZ momentu hybnosti

# PRINCÍP RELATIVITY

## INERCIÁLNE VZTAŽNÉ SÚSTAVY

AKO NÁJŠŤ IVS #1:

platí v nej Newtonova pohybová rovnica

AKO NÁJŠŤ VŠETKY OSTATNÉ IVS:

pohybujú sa voči IVS #1 konštantnou rýchlosťou

prechod medzi dvoma IVS  $\equiv$  Lorentzova transformácia

PRINCÍP RELATIVITY:

*vo všetkých IVS platia rovnaké  
fyzikálne zákony*



Lorentzova symetria

hraničná rýchlosť

# PRINCÍP RELATIVITY

## INERCIÁLNE VZT'AŽNÉ SÚSTAVY

AKO NÁJST' IVS #1:

platí v nej Newtonova pohybová rovnica

AKO NÁJST' VŠETKY OSTATNÉ IVS:

pohybujú sa voči IVS #1 konštantnou rýchlosťou

prechod medzi dvoma IVS  $\equiv$  Lorentzova transformácia

PRINCÍP RELATIVITY:

*vo všetkých IVS platia rovnaké  
fyzikálne zákony*

$\Rightarrow$

Lorentzova symetria  
hraničná rýchlosť

# PRINCÍP RELATIVITY

## INERCIÁLNE VZT'AŽNÉ SÚSTAVY

AKO NÁJST' IVS #1:

platí v nej Newtonova pohybová rovnica

AKO NÁJST' VŠETKY OSTATNÉ IVS:

pohybujú sa voči IVS #1 konštantnou rýchlosťou

prechod medzi dvoma IVS  $\equiv$  Lorentzova transformácia

PRINCÍP RELATIVITY:

*vo všetkých IVS platia rovnaké  
fyzikálne zákony*

$\Rightarrow$

Lorentzova symetria

hraničná rýchlosť

# PRINCÍP RELATIVITY

## INERCIÁLNE VZT'AŽNÉ SÚSTAVY

AKO NÁJST' IVS #1:

platí v nej Newtonova pohybová rovnica

AKO NÁJST' VŠETKY OSTATNÉ IVS:

pohybujú sa voči IVS #1 konštantnou rýchlosťou

prechod medzi dvoma IVS  $\equiv$  Lorentzova transformácia

## PRINCÍP RELATIVITY:

*vo všetkých IVS platia rovnaké  
fyzikálne zákony*



Lorentzova symetria

hraničná rýchlosť

# PRINCÍP RELATIVITY

## INERCIÁLNE VZT'AŽNÉ SÚSTAVY

AKO NÁJST' IVS #1:

platí v nej Newtonova pohybová rovnica

AKO NÁJST' VŠETKY OSTATNÉ IVS:

pohybujú sa voči IVS #1 konštantnou rýchlosťou

prechod medzi dvoma IVS  $\equiv$  Lorentzova transformácia

PRINCÍP RELATIVITY:

*vo všetkých IVS platia rovnaké  
fyzikálne zákony*

$\Rightarrow$

Lorentzova symetria

hraničná rýchlosť

# PRINCÍP NAJMENŠIEHO ÚČINKU

- Lagrangeova funkcia  $L(q, \frac{dq}{dt})$

... systém

- Účinok

$$S[q(t)] = \int_{t_1}^{t_2} L\left(q(t), \frac{dq(t)}{dt}\right) dt$$

$$\delta S[q(t)] = 0$$

$$\text{PR: } \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} = 0$$

- symetria systému → Lagrangeova funkcia



# PRINCÍP NAJMENŠIEHO ÚČINKU

- Lagrangeova funkcia  $L(q, \frac{dq}{dt})$

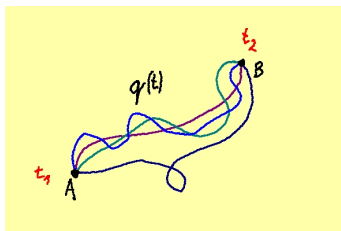
... systém

- Účinok

$$S[q(t)] = \int_{t_1}^{t_2} L\left(q(t), \frac{dq(t)}{dt}\right) dt$$

$$\delta S[q(t)] = 0$$

$$\text{PR: } \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} = 0$$



- symetria systému → Lagrangeova funkcia

# PRINCÍP NAJMENŠIEHO ÚČINKU

- Lagrangeova funkcia  $L(q, \frac{dq}{dt})$

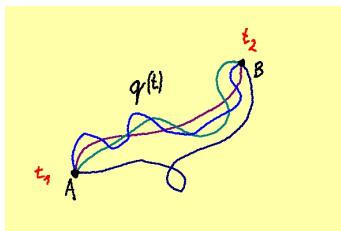
... systém

- Účinok

$$S[q(t)] = \int_{t_1}^{t_2} L\left(q(t), \frac{dq(t)}{dt}\right) dt$$

$$\delta S[q(t)] = 0$$

$$\text{PR: } \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} = 0$$



- symetria systému → Lagrangeova funkcia

# PODIVNOSTI MIKROSVETA

- nezachovanie hmotnosti

$$\dots E = mc^2$$

*energia = pohyb + hmotnosť*

- sila

- ▷ zrýchlenie
- ▷ zmena smeru
- ▷ vznik/zánik častíc

- kvantový determinizmus

# PODIVNOSTI MIKROSVETA

- nezachovanie hmotnosti

$$\dots E = mc^2$$

*energia = pohyb + hmotnosť*

- sila

- ▷ zrýchlenie
- ▷ zmena smeru
- ▷ vznik/zánik častíc

- kvantový determinizmus

# PODIVNOSTI MIKROSVETA

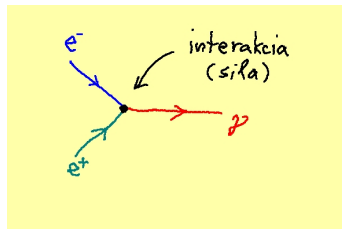
- nezachovanie hmotnosti

$$\dots E = mc^2$$

*energia = pohyb + hmotnosť*

- sila

- ▷ zrýchlenie
- ▷ zmena smeru
- ▷ vznik/zánik častíc



- kvantový determinizmus

# PODIVNOSTI MIKROSVETA

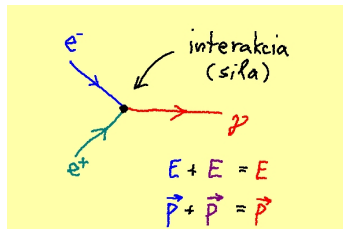
- nezachovanie hmotnosti

$$\dots E = mc^2$$

*energia = pohyb + hmotnosť*

- sila

- ▷ zrýchlenie
- ▷ zmena smeru
- ▷ vznik/zánik častíc



- kvantový determinizmus

# PODIVNOSTI MIKROSVETA

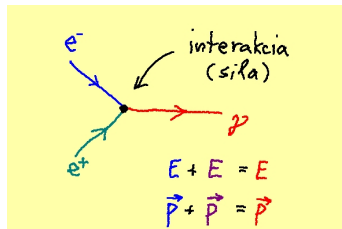
- nezachovanie hmotnosti

$$\dots E = mc^2$$

*energia = pohyb + hmotnosť*

- sila

- ▷ zrýchlenie
- ▷ zmena smeru
- ▷ vznik/zánik častíc



- kvantový determinizmus

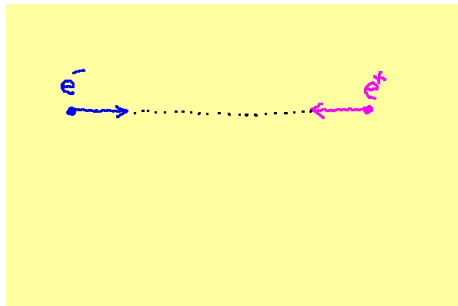
# EXPERIMENT V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

- nové častice
- interakcie



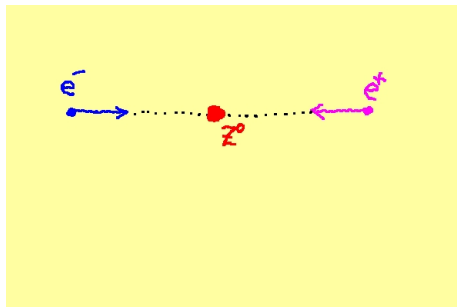
# EXPERIMENT V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

- nové častice
- interakcie



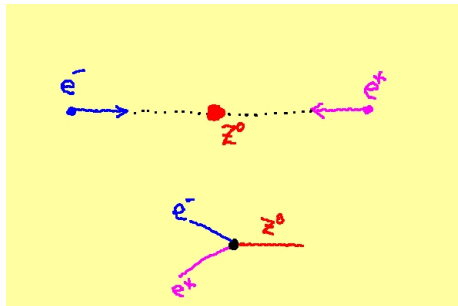
# EXPERIMENT V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

- nové častice
- interakcie



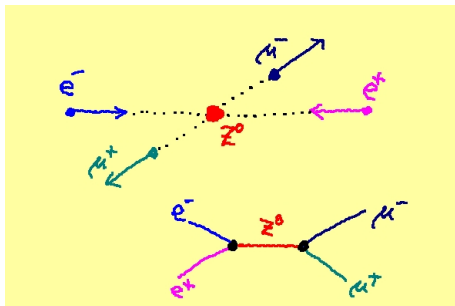
# EXPERIMENT V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

- nové častice
- interakcie



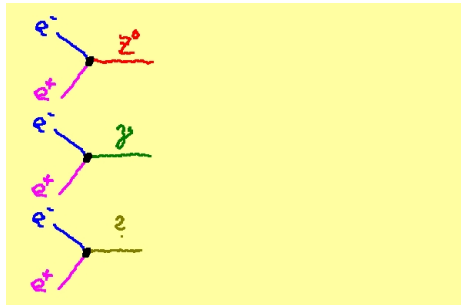
# EXPERIMENT V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

- nové častice
- interakcie



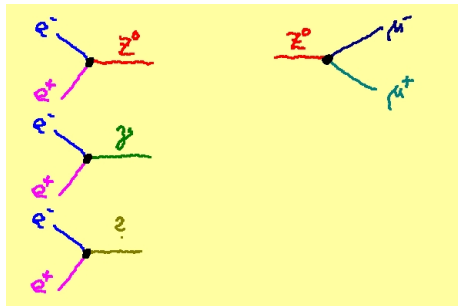
# EXPERIMENT V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

- nové častice
- interakcie



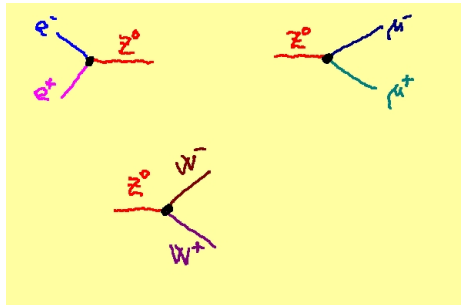
# EXPERIMENT V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

- nové častice
- interakcie



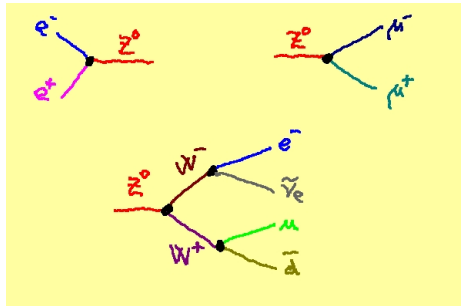
# EXPERIMENT V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

- nové častice
- interakcie



# EXPERIMENT V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

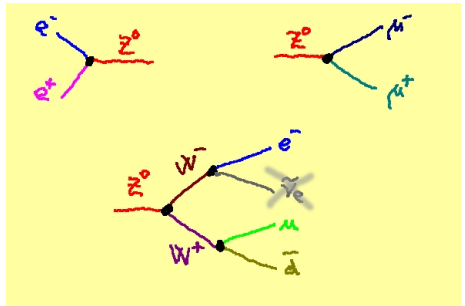
- nové častice
- interakcie





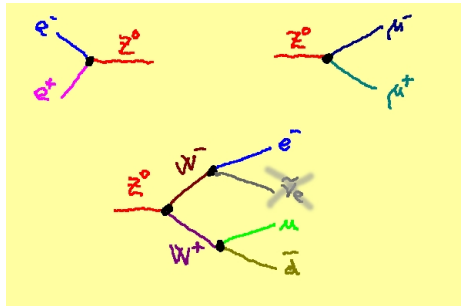
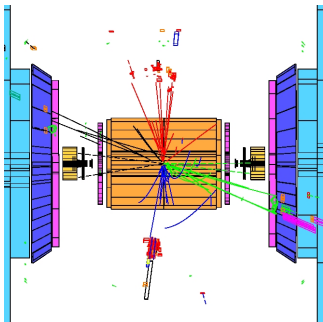
# EXPERIMENT V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

- nové častice
- interakcie



# EXPERIMENT V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

- nové častice
- interakcie



# TEÓRIA V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

FYZIKÁLNY SYSTÉM

fyzikálne polia

STAV

vektor v Hilbertovom priestore

ČASOVÝ VÝVOJ

# TEÓRIA V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

FYZIKÁLNY SYSTÉM

fyzikálne polia

STAV

vektor v Hilbertovom priestore

ČASOVÝ VÝVOJ

# TEÓRIA V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

FYZIKÁLNY SYSTÉM

fyzikálne polia

STAV

vektor v Hilbertovom priestore

ČASOVÝ VÝVOJ

# TEÓRIA V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

FYZIKÁLNY SYSTÉM

fyzikálne polia

STAV

vektor v Hilbertovom priestore

ČASOVÝ VÝVOJ

pohybová rovnica

# TEÓRIA V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

## FYZIKÁLNY SYSTÉM

fyzikálne polia

## STAV

vektor v Hilbertovom priestore

## ČASOVÝ VÝVOJ

**Lagrangian**  $\rightarrow$  pohybová rovnica

# TEÓRIA V ELEMENTÁRNYCH ČASTICIACH

FYZIKÁLNY SYSTÉM

fyzikálne polia

STAV

vektor v Hilbertovom priestore

ČASOVÝ VÝVOJ

**Lagrangian** → pohybová rovnica

↑

symetria

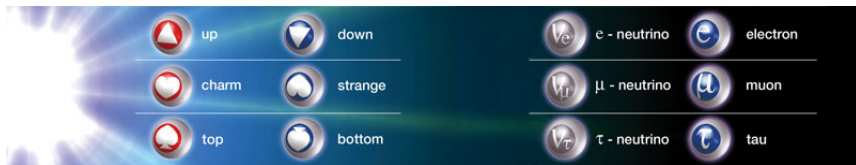


# OBSAH

- 1 RÝCHLA CESTA DO PREDNEJ LÍNIE
- 2 NEPOLAPITEL'NÝ HIGGS
- 3 PREKVAPENIE V OPERE

# ŠTANDARDNÝ MODEL

## hmota

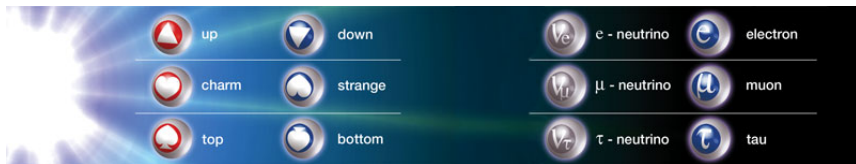


## sily

elmag	silná	slabá	gravitačná
fotón	8 gluónov	$W^\pm, Z$	gravitón?

# ŠTANDARDNÝ MODEL

## hmota



## sily

elmag	silná	slabá	gravitačná
fotón	8 gluónov	$W^{\pm}, Z$	gravitón?

# SYMETRIE ŠTANDARDNÉHO MODELU

- translácie v priestore a čase
- priestorové rotácie
- Lorentzove transformácie
- interné kalibračné symetrie

# SYMETRIE ŠTANDARDNÉHO MODELU

- translácie v priestore a čase
- priestorové rotácie
- Lorentzove transformácie
- interné kalibračné symetrie

▷ zachovanie nábojov

▷  $\exists$  silónov

▷ presný tvar interakcií

▷  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$

... elektrický, silný, ...

... fotón, gluóny,  $W^\pm$ ,  $Z$

... self-interakcie, ...

# SYMETRIE ŠTANDARDNÉHO MODELU

- translácie v priestore a čase
- priestorové rotácie
- Lorentzove transformácie
- interné kalibračné symetrie

▷ zachovanie nábojov

... *elektrický, silný, ...*

▷  $\exists$  silónov

... *fotón, gluóny,  $W^\pm$ ,  $Z$*

▷ presný tvar interakcií

... *self-interakcie, ...*

▷  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$

# SYMETRIE ŠTANDARDNÉHO MODELU

- translácie v priestore a čase
- priestorové rotácie
- Lorentzove transformácie
- interné kalibračné symetrie

▷ zachovanie nábojov

▷  $\exists$  silónov

▷ presný tvar interakcií

▷  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$

... *elektrický, silný, ...*  
... *fotón, gluóny,  $W^\pm$ ,  $Z$*   
... *self-interakcie, ...*

# SYMETRIE ŠTANDARDNÉHO MODELU

- translácie v priestore a čase
- priestorové rotácie
- Lorentzove transformácie

- interné kalibračné symetrie

- ▷ zachovanie nábojov
- ▷  $\exists$  silónov
- ▷ presný tvar interakcií
- ▷  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$

... *elektrický, silný, ...*  
... *fotón, gluóny,  $W^\pm$ ,  $Z$*   
... *self-interakcie, ...*



# SYMETRIE ŠTANDARDNÉHO MODELU

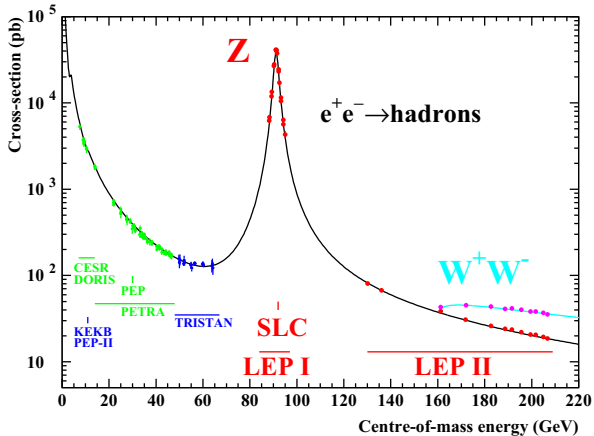
- translácie v priestore a čase
- priestorové rotácie
- Lorentzove transformácie

- interné kalibračné symetrie

- ▷ zachovanie nábojov
- ▷  $\exists$  silónov
- ▷ presný tvar interakcií
- ▷  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$

... *elektrický, silný, ...*  
... *fotón, gluóny,  $W^\pm$ ,  $Z$*   
... *self-interakcie, ...*

# EXPERIMENTÁLNE ÚSPECHY ŠM



# EXPERIMENTÁLNE ÚSPECHY ŠM

## TOP QUARK

Tevatron 1995

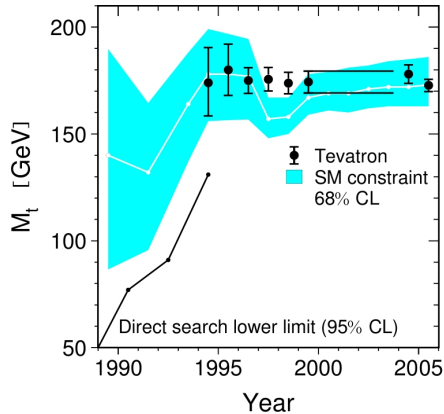
$$SU(2) : \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

# EXPERIMENTÁLNE ÚSPECHY ŠM

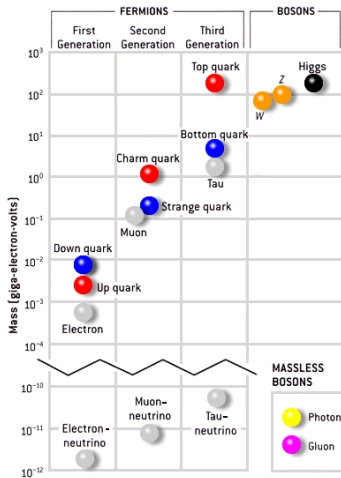
## TOP QUARK

Tevatron 1995

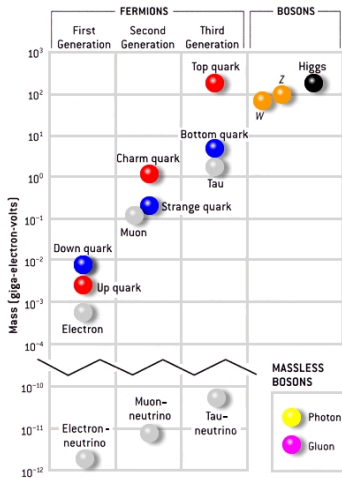
$$SU(2) : \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$



# PROBLÉM S HMOTNOSŤAMI



# PROBLÉM S HMOTNOSŤAMI



Hmotnostné členy  
v Lagrangiane  
narúšajú kalibračnú symetriu!



# HIGGSOV BOZÓN

spontánne narušenie symetrie:

symetria základného stavu

<

symetria Lagrangianu

realizácia:

spontánne narušenie symetrie

spontánne narušenie symetrie

# HIGSOV BOZÓN

spontánne narušenie symetrie:

symetria základného stavu

<

symetria Lagrangianu

realizácia:

- rôzne možnosti
- Higgsovo pole



# HIGGSOV BOZÓN

spontánne narušenie symetrie:

symetria základného stavu

<

symetria Lagrangianu

realizácia:

- rôzne možnosti
- Higgsovo pole

→ Higgsov bozón

$m_H = ?$

# HIGGSOV BOZÓN

spontánne narušenie symetrie:

symetria základného stavu

<

symetria Lagrangianu

realizácia:

- rôzne možnosti
- Higgsovo pole

→

Higgsov bozón

$m_H = ?$

# HIGGSOV BOZÓN

spontánne narušenie symetrie:

symetria základného stavu

<

symetria Lagrangianu

realizácia:

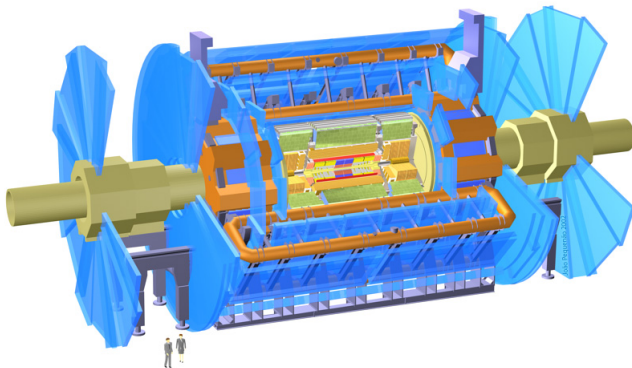
- rôzne možnosti
- Higgsovo pole

→

Higgsov bozón

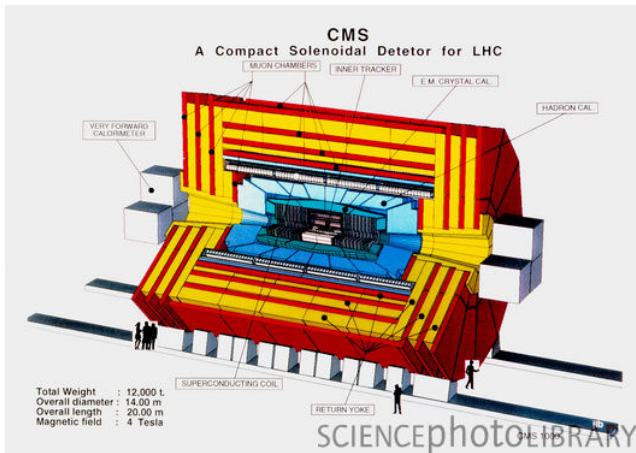
$m_H = ?$

# HL'ADANIE HIGGSA

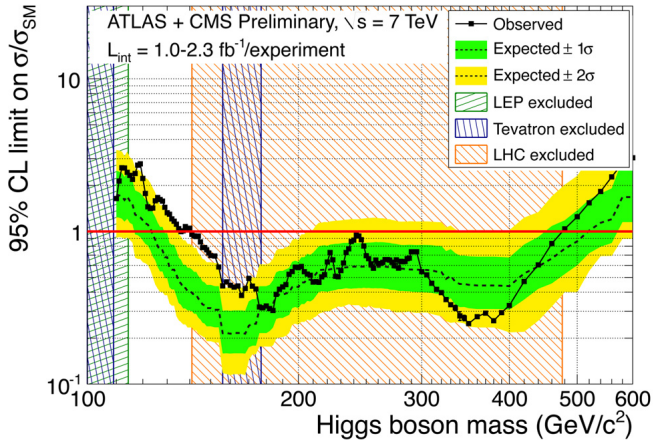


ATLAS

# HL'ADANIE HIGGSA



# HL'ADANIE HIGGSA



# NÁHRADNÉ VYSVETLENIA

## alternatívne teórie spontáneho narušenia symetrie:

- supersymetrie
- Technicolor

# NÁHRADNÉ VYSVETLENIA

## alternatívne teórie spontáneho narušenia symetrie:

- supersymetrie
- Technicolor



# NÁHRADNÉ VYSVETLENIA

## alternatívne teórie spontáneho narušenia symetrie:

- supersymetrie
- Technicolor

# OBSAH

- 1 RÝCHLA CESTA DO PREDNEJ LÍNIE
- 2 NEPOLAPITEL'NÝ HIGGS
- 3 PREKVAPENIE V OPERE

# RÝCHLOST' SVETLA

Lorentzova symetria  $\Rightarrow$  hraničná rýchlosť



# RÝCHLOST' NEUTRÍN Z GRAN SASSO

- piatok, 23.september 2011
- experiment OPERA



rýchlosť  $\nu_\mu$ :

$$v = (1.000\,024\,7 \pm 0.000\,004\,1)c$$



6 sigma odchylka !

# RÝCHLOST' NEUTRÍN Z GRAN SASSO

- piatok, 23.september 2011
- experiment OPERA



rýchlosť  $\nu_\mu$ :

$$v = (1.000\,024\,7 \pm 0.000\,004\,1)c$$

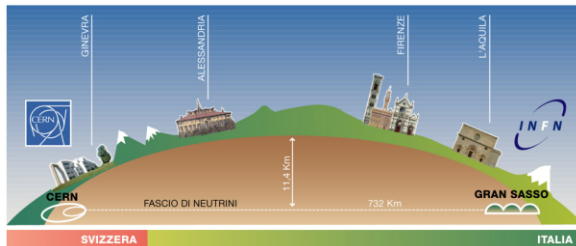
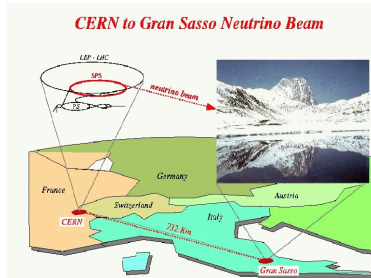


6 sigma odchylka !

# OSCILLATION PROJECT WITH EMULSION-TRACKING APPARATUS

$$\nu_{\mu} \longrightarrow \nu_{\tau}$$

$$\langle E_{\nu} \rangle = 17 \text{ GeV}$$



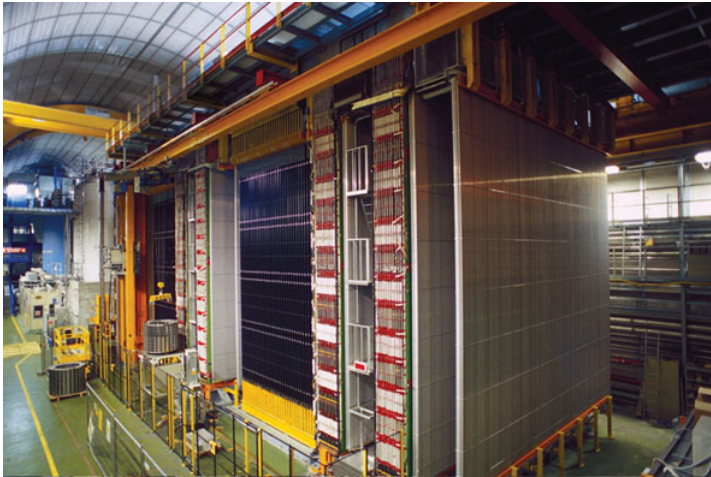
# LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO (LNGS)







# OPERA DETECTOR



# EXPECTATION

expectation due to the neutrino mass:

$$\frac{|v - c|}{c} < 10^{-19}$$

result:

$$\frac{v - c}{c} = 2.5 \times 10^{-5}$$

# MEASUREMENTS

2009 – 2011:

CERN  
 $10^{20}$  protons



OPERA  
16 000 neutrinos

distance:  $731\,278.0 \pm 0.2$  cm

time of flight:  $\sim 2.5$  ms

precision:  $< 10$  ns

$$\delta t = \text{ToF}_c - \text{ToF}_\nu = (60.7 \pm 6.9 \pm 7.4) \text{ ns}$$

6 sigma deviation !

# MEASUREMENTS

2009 – 2011:

CERN  
 $10^{20}$  protons



OPERA  
16 000 neutrinos

distance:  $731\,278.0 \pm 0.2$  cm

time of flight:  $\sim 2.5$  ms

precision:  $< 10$  ns

$$\delta t = \text{ToF}_e - \text{ToF}_\nu = (60.7 \pm 6.9 \pm 7.1) \text{ ns}$$

6 sigma deviation !

# MEASUREMENTS

2009 – 2011:

CERN  
 $10^{20}$  protons



OPERA  
16 000 neutrinos

distance:  $731\,278.0 \pm 0.2$  cm

time of flight:  $\sim 2.5$  ms

precision:  $< 10$  ns

$$\delta t = \text{ToF}_e - \text{ToF}_\nu = (60.7 \pm 6.9 \pm 7.1) \text{ ns}$$

6 sigma deviation !

# MEASUREMENTS

2009 – 2011:

CERN  
 $10^{20}$  protons



OPERA  
16 000 neutrinos

distance:  $731\,278.0 \pm 0.2$  cm

time of flight:  $\sim 2.5$  ms

precision:  $< 10$  ns

$$\delta t = \text{ToF}_c - \text{ToF}_\nu = (60.7 \pm 6.9 \pm 7.4) \text{ ns}$$

6 sigma deviation !

# DÔSLEDKY $v_\nu > c$

- 1 teória relativity
- 2 kvantová teória poľa
- 3 Maxwelllove rovnice

## D'ALŠIE EXPERIMENTY

- **Fermilab, USA, 1979**

short baseline

$\nu_\mu$ ,  $E_\nu > 30$  GeV

$$\frac{|v - c|}{c} \leq 4 \times 10^{-5}$$

- **supernova SN1987A**

168 000 l.y.

$\nu_e$ ,  $E_\nu \approx 10$  MeV

$$\frac{|v - c|}{c} \leq 2 \times 10^{-9}$$

- **Fermilab's MINOS, USA, 2007**

732 km

$\nu_\mu$ ,  $E_\nu \approx 3 \text{ -- } 100$  GeV

$$\frac{v - c}{c} = (5.1 \pm 2.9) \times 10^{-5}$$

(1.8 sigma)

- **OPERA, Italy, 2011**

732 km

$\nu_\mu$ ,  $E_\nu \approx 17$  GeV

$$\frac{v - c}{c} = (2.48 \pm 0.28 \pm 0.30) \times 10^{-5}$$

(6 sigma)



# ZÁVER

... všetko je otvorené

- Higgs bude objavený alebo vylúčený do leta 2012
- výsledky OPERA experimentu musia byť potvrdené/vyvrátené nezávislým meraním