

# HIGGSOV BOZÓN: PREČO HO VŠETCI HL'ADAJÚ A MOŽNO NIKTO NENÁJDE

*Mikuláš Gintner*  
*Katedra fyziky ŽU*

seminár *Aká si mi krásna...*  
UMB B.Bystrica

28.4.2008

# OBSAH

- 1 SYMETRIE VO FYZIKE
- 2 ŠTANDARDNÝ MODEL
- 3 HIGGSOV BOZÓN
- 4 LHC: STROJ NA HIGGSA

# OBSAH

- 1 SYMETRIE VO FYZIKE
- 2 Štandardný model
- 3 Higgsov bozón
- 4 LHC: stroj na Higgsa

# ZÁKLADNÁ OTÁZKA

# ZÁKLADNÁ OTÁZKA

fyzikálny systém

*charakt. funkcia, parametre*



stav

*stavové veličiny*



# ZÁKLADNÁ OTÁZKA

fyzikálny systém

*charakt. funkcia, parametre*



stav

*stavové veličiny*



pohybová rovnica



časový vývoj

# ZÁKLADNÁ OTÁZKA — NEWTONOVA MECHANIKA

FS: hmotný bod

$$\vec{F}(t, \vec{r}, \vec{v}), m$$



$$\vec{F} = m \frac{d^2 \vec{r}}{d t^2}$$



$$\vec{r}(t)$$

stav

$$\vec{r}_0, \vec{v}_0$$



# SYMETRIE FYZIKÁLNYCH ZÁKONOV

## Chicago Bulls vs. Los Angeles Lakers



Chicago

$$\vec{F} = m\vec{a}$$



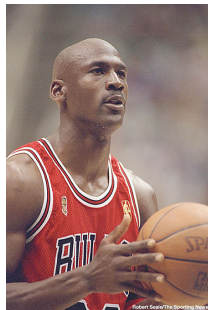
# SYMETRIE FYZIKÁLNYCH ZÁKONOV

## Chicago Bulls vs. Los Angeles Lakers



Chicago

$$\vec{F} = m\vec{a}$$



L.A.

?

# SYMETRIE FYZIKÁLNYCH ZÁKONOV

## Chicago Bulls vs. Los Angeles Lakers



**Chicago**

$$\vec{F} = m\vec{a}$$



**L.A.**

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

# ZÁKONY ZACHOVANIA

Teorém E. Noether (1915): spojitá symetria  $\Rightarrow$  zákon zachovania

# ZÁKONY ZACHOVANIA

Teorém E. Noether (1915): spojitá symetria  $\Rightarrow$  zákon zachovania

**TRAFO:**

**zachováva sa:**

# ZÁKONY ZACHOVANIA

Teorém E. Noether (1915): spojitá symetria  $\Rightarrow$  zákon zachovania

**TRAFO:**

- posunutia v priestore  $\Rightarrow$

**zachováva sa:**

...hybnosť

# ZÁKONY ZACHOVANIA

Teorém E. Noether (1915): spojité symetrie  $\Rightarrow$  zákon zachovania

**TRAFO:**

- posunutia v priestore  $\Rightarrow$
- rotácie v priestore  $\Rightarrow$

**zachováva sa:**

...hybnosť  
...moment hybnosti

# ZÁKONY ZACHOVANIA

Teorém E. Noether (1915): spojité symetrie  $\Rightarrow$  zákon zachovania

## TRAFO:

- posunutia v priestore  $\Rightarrow$
- rotácie v priestore  $\Rightarrow$
- posunutia v čase  $\Rightarrow$

## zachováva sa:

- ...hybnosť
- ...moment hybnosti
- ...energia

# EMMY NOETHER (1882-1935)

Einstein wrote to Hilbert (1918):  
*“Yesterday I received from Miss Noether a very interesting paper on invariants. I’m impressed that such things can be understood in such a general way. The old guard at Göttingen should take some lessons from Miss Noether! She seems to know her stuff.”*

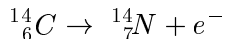




# PRÍBEH NEUTRÍNA

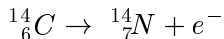
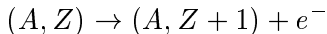
H. Bequerel, 1896:

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z + 1) + e^{-}$$



# PRÍBEH NEUTRÍNA

H. Bequerel, 1896:

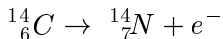
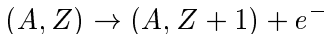


očakávanie:

$$E_e^{kin} = M_{(A,Z)}c^2 - M_{(A,Z+1)}c^2 - m_e c^2$$

# PRÍBEH NEUTRÍNA

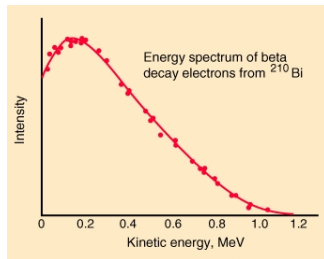
H. Bequerel, 1896:



očakávanie:

$$E_e^{kin} = M_{(A,Z)}c^2 - M_{(A,Z+1)}c^2 - m_e c^2$$

Lise Meitner and  
Otto Hahn, 1911:



# *Liebe Radioaktive Damen und Herren!*

W. Pauli 1930:

## *Liebe Radioaktive Damen und Herren!*

W. Pauli 1930:

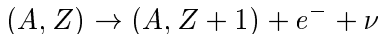
- ZZE  $\Rightarrow$  neutrino:  
 $\nu =$  ľahká častica ( $\leq 0.01m_p$ ) bez elektrického náboja

## *Liebe Radioaktive Damen und Herren!*

W. Pauli 1930:

- ZZE  $\Rightarrow$  neutrino:

$\nu$  = ľahká častica ( $\leq 0.01m_p$ ) bez elektrického náboja



$$E_e^{kin} + E_\nu^{kin} = M_{(A,Z)}c^2 - M_{(A,Z+1)}c^2 - m_e c^2 - m_\nu c^2$$

# OBSAH

- 1 Symetrie vo fyzike
- 2 ŠTANDARDNÝ MODEL
- 3 Higgsov bozón
- 4 LHC: stroj na Higgsa

# RELATIVISTICKO-KVANTOVÝ SVET

## Klasický makrosvet

$$v \ll c, L > 10^{-3}\text{m}$$

## Relativistický, kvantový mikrosvet

$$v \approx c, L < 10^{-10}\text{m}$$



# RELATIVISTICKO-KVANTOVÝ SVET

## Klasický makrosvet

$$v \ll c, L > 10^{-3}\text{m}$$

- zmena hybnosti

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

## Relativistický, kvantový mikrosvet

$$v \approx c, L < 10^{-10}\text{m}$$

- zmena hybnosti

- zánik a vznik častíc

Sila

(interakcia)

# RELATIVISTICKO-KVANTOVÝ SVET

## Klasický makrosvet

$$v \ll c, L > 10^{-3}\text{m}$$

- zmena hybnosti

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

- zachováva sa

Sila

(interakcia)

hmotnosť

## Relativistický, kvantový mikrosvet

$$v \approx c, L < 10^{-10}\text{m}$$

- zmena hybnosti

- zánik a vznik častíc

- nezachováva sa

$$E = mc^2$$

-  $\exists$  nulová hmotnosť

# RELATIVISTICKO-KVANTOVÝ SVET

## Klasický makrosvet

$$v \ll c, L > 10^{-3}\text{m}$$

- zmena hybnosti

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

- zachováva sa

- jednoznačná

Sila

(interakcia)

hmotnosť

predpoveď

## Relativistický, kvantový mikrosvet

$$v \approx c, L < 10^{-10}\text{m}$$

- zmena hybnosti

- zánik a vznik častíc

- nezachováva sa

$$E = mc^2$$

-  $\exists$  nulová hmotnosť

- pravdepodobnosť

# RELATIVISTICKO-KVANTOVÝ SVET

## Klasický makrosvet

$$v \ll c, L > 10^{-3}\text{m}$$

- zmena hybnosti

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

- zachováva sa

- jednoznačná

## Relativistický, kvantový mikrosvet

$$v \approx c, L < 10^{-10}\text{m}$$

- zmena hybnosti

- zánik a vznik častíc

- nezachováva sa

$$E = mc^2$$

-  $\exists$  nulová hmotnosť

- pravdepodobnosť

Čo nie je zakázané,  
je povolené.

Sila

(interakcia)

hmotnosť

predpoveď

# ČASTICOVÁ ZOO

**fermióny:**

**bozóny:**

# ČASTICOVÁ ZOO

fermióny:

	I	II	III	$q/q_p$
$\nu_e$	?	$\nu_\mu$	?	0
$e^-$	0.0005	$\mu^-$	0.1	-1
$u$	0.003	$c$	1.2	$+\frac{2}{3}$
$d$	0.006	$s$	0.1	$-\frac{1}{3}$

bozóny:

# ČASTICOVÁ ZOO

fermióny:

	I	II	III	$q/q_p$
$\nu_e$	?	$\nu_\mu$	?	0
$e^-$	0.0005	$\mu^-$	0.1	-1
$u$	0.003	$c$	1.2	$+\frac{2}{3}$
$d$	0.006	$s$	0.1	$-\frac{1}{3}$

bozóny:

častica	hmotnosť	$q/q_p$	interakcia
<b>8 gluónov</b>	0	0	silná
<b>fotón</b>	0	0	elmag
$W^+$	80.3	+1	slabá
$W^-$	80.3	-1	
$Z$	91.2	0	
gravitón	0	0	gravitačná

# ZÁKLADNÁ OTÁZKA

fyzikálny systém

*charakt. funkcia, parametre*



stav

*stavové veličiny*



pohybová rovnica



časový vývoj



# ZÁKLADNÁ OTÁZKA — KVANTOVÁ MECHANIKA

FS: častice

*Hamiltonov operátor  $\hat{H}$ ,  
hmotnosť, spin, ...*

stav

*normované vektory  $|\psi\rangle$   
Hilbertovho priestoru*



$$i\frac{\partial|\psi\rangle}{\partial t} = \hat{H}|\psi\rangle$$



$$|\psi\rangle(t)$$

# SYMETRIA V TEÓRII ČASTÍC

spojitá symetria teórie  $\leftrightarrow$  Lieova grupa

$|\psi\rangle \in$  bázový priestor *irrep*

# SYMETRIA V TEÓRII ČASTÍC

spojitá symetria teórie  $\leftrightarrow$  Lieova grupa

$|\psi\rangle \in$  bázový priestor *irrep*

**Lorentzova symetria**  $\cong SU(2) \times SU(2)$ :

reprezentácia	dim	spin	častica
skalár	1	0	Higgs ?
R,L-spinor	2	1/2	leptóny, kvarky
4-vektor	4	1	fotón, gluón, $W^\pm$ , Z

# SYMETRIE ŠTANDARDNÉHO MODELU

# SYMETRIE ŠTANDARDNÉHO MODELU

interná symetria:  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$

- kalibračná: *globálna*  $\rightarrow$  *lokálna*
- kalibračné bozóny: *gluóny*, *fotón*,  $W^\pm$ ,  $Z$
- tvar interakcií: *ferm-KB*, *KB-KB*

# SYMETRIE ŠTANDARDNÉHO MODELU

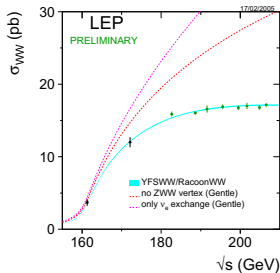
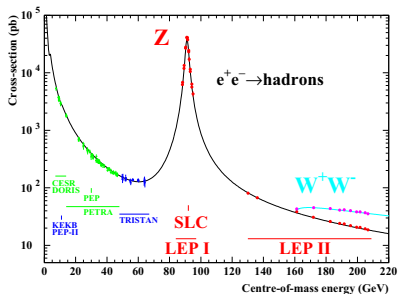
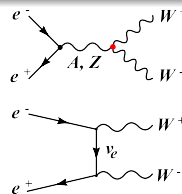
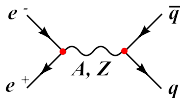
interná symetria:  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$

- kalibračná: *globálna*  $\rightarrow$  *lokálna*
- kalibračné bozóny: *gluóny*, *fotón*,  $W^\pm$ ,  $Z$
- tvar interakcií: *ferm-KB*, *KB-KB*

operácia parity  $\approx$  zrkadlenie

<b>sila</b>	<b><math>P</math> je symetria</b>
gravitačná	áno
elmag	áno
silná	áno
<b>slabá</b>	<b>nie</b>

# TESTOVANIE KALIBRAČNEJ SYMETRIE



# PROBLÉM HMOTNOSTÍ

- kalibračná symetria  $\Rightarrow \forall$  **KB bez hmotnosti**
- KS + narušenie parity  $\Rightarrow \forall$  **fermióny bez hmotnosti**



# PROBLÉM HMOTNOSTÍ

- kalibračná symetria  $\Rightarrow \forall$  **KB bez hmotnosti**
- KS + narušenie parity  $\Rightarrow \forall$  **fermióny bez hmotnosti**
- nulová hmotnosť: **fotón, gluóny,  $\nu_e$**  (možno)

## MOŽNÉ RIEŠENIE: HIGGSOVO POLE

- $SU(2)$  doublet komplexných skalárov: *Higgsovo pole*
- symetria teórie nenarušená
- menšia symetria vákua: *spontánne narušenie symetrie*
- $SU(3) \times SU(2) \times U(1) \rightarrow SU(3) \times U(1)'$

## MOŽNÉ RIEŠENIE: HIGGSOVO POLE

- $SU(2)$  doublet komplexných skalárov: *Higgsovo pole*
- symetria teórie nenarušená
- menšia symetria vákua: *spontánne narušenie symetrie*
- $SU(3) \times SU(2) \times U(1) \rightarrow SU(3) \times U(1)'$
- $\Rightarrow$  **hmotnosti!!!**

Higgsovo pole “kladie odpor” pohybu bezhmotných častíc  
↓  
častice efektívne získavajú hmotnosť

## MOŽNÉ RIEŠENIE: HIGGSOVO POLE

- $SU(2)$  doublet komplexných skalárov: *Higgsovo pole*
- symetria teórie nenarušená
- menšia symetria vákua: *spontánne narušenie symetrie*
- $SU(3) \times SU(2) \times U(1) \rightarrow SU(3) \times U(1)'$
- $\Rightarrow$  **hmotnosti!!!**

Higgsovo pole “kladie odpor” pohybu bezhmotných častíc  
↓  
častice efektívne získavajú hmotnosť

- **Higgsov skalárny bozón**

## MOŽNÉ RIEŠENIE: HIGGSOVO POLE

- $SU(2)$  doublet komplexných skalárov: *Higgsovo pole*
- symetria teórie nenarušená
- menšia symetria vákua: *spontánne narušenie symetrie*
- $SU(3) \times SU(2) \times U(1) \rightarrow SU(3) \times U(1)'$
- $\Rightarrow$  **hmotnosti!!!**

Higgsovo pole “kladie odpor” pohybu bezhmotných častíc  
↓  
častice efektívne získavajú hmotnosť

- **Higgsov skalárny bozón**: NEOBJAVENÝ,  $m_H$  voľný parameter

## ALTERNATÍVNE RIEŠENIA

- $SU(2)$  doublet komplexných skalárov: *Higgsovo pole*
- symetria teórie nenarušená
- menšia symetria vákua: *spontánne narušenie symetrie*
- $SU(3) \times SU(2) \times U(1) \rightarrow SU(3) \times U(1)'$
- $\Rightarrow$  hmotnosti!!!

Higgsovo pole “kladie odpor” pohybu bezhmotných častíc  
↓  
častice efektívne získavajú hmotnosť

- **Higgsov skalárny bozón**: NEOBJAVENÝ,  $m_H$  voľný parameter

# OBSAH

- 1 Symetrie vo fyzike
- 2 Štandardný model
- 3 HIGGSOV BOZÓN**
- 4 LHC: stroj na Higgso

Symetrie vo fyzike  
Standardný model  
Higgsov bozón  
LHC: stroj na Higgso

# HIGGS BOSON WANTED! REWARD!

WEST A. FINKERTON, Gen'l Supt.  
EASTERN DIVISION,  
NEW YORK.

WESTERN DIVISION,  
CHICAGO, ILL.

**FINKERTON'S NATIONAL DETECTIVE AGENCY**  
INCORPORATED BY FINKERTON & CO.

NEW YORK: 40 Broadway, 4th Fl., James C. Conroy, Supt.  
BOSTON: 100 State St., James C. Conroy, Supt.  
PHILADELPHIA: 100 Arch St., James C. Conroy, Supt.  
CHICAGO: 128 N. Dearborn St., James C. Conroy, Supt.  
ST. PAUL: 100 N. Wabash St., James C. Conroy, Supt.  
KANSAS CITY: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
DENVER: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
MINNEAPOLIS: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
ST. LOUIS: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
ATLANTA: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
MEMPHIS: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
INDIANAPOLIS: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
CINCINNATI: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
COLUMBIA: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
BALTIMORE: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
PHILADELPHIA: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
ATLANTA: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
MEMPHIS: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
INDIANAPOLIS: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
CINCINNATI: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
COLUMBIA: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.  
BALTIMORE: 100 N. 10th St., James C. Conroy, Supt.

ATTORNEYS FOR THE AGENT:  
GARDNER A. BISHOP, New York. Gen. B. GOSMAN, Philadelphia.

D. W. Mear, Counsel, Ill.

**\$1,000 REWARD!**  
**ARREST**  
**OLIVER CURTIS PERRY,**  
alias James Curtis Perry, alias "Curt" Perry,  
alias Oliver Moore,  
**FOR TRAIN ROBBERY.**

*James C. Perry*  
*July 18*

The above libel is a good one but  
falsely. His name is not so full  
and his life is different.

**BILLY THE KID.**

**\$500 REWARD.**

I will pay \$500 reward to any person or persons who will capture William Bonny, alias The Kid, and deliver him to any sheriff of New Mexico. Satisfactory proofs of identity will be required.

**LEW. WALLACE,**  
Governor of New Mexico.

**PROCLAMATION**  
**\$5,000<sup>00</sup>**  
**REWARD**

FOR EACH OF SEVEN ROBBERS OF THE TRAIN at WINSTON, MO., JULY 15, 1881, and THE MURDER OF CONDUCTOR WESTFALL

**\$ 5,000.00**

ADDITIONAL for ARREST or CAPTURE  
**DEAD OR ALIVE**  
**OF JESSE OR FRANK JAMES**

THIS NOTICE TAKES THE PLACE OF ALL PREVIOUS REWARD NOTICES.

CONTACT SHERIFF, DAVIESS COUNTY, MISSOURI  
IMMEDIATELY

T. T. CRITTENDEN, GOVERNOR  
STATE OF MISSOURI  
JULY 26, 1881



Symetrie vo fyzike  
 Standardný model  
 Higgsov bozón  
 LHC: stroj na Higgssa

# HIGGS BOSON WANTED! REWARD!

WEST A. PINKERTON, Gen'l Supt.  
 EASTERN DIVISION,  
 NEW YORK.

WESTERN DIVISION,  
 CHICAGO, ILL.

**PINKERTON'S NATIONAL DETECTIVE AGENCY**


INCORPORATED BY ACT OF CONGRESS  
 FEBRUARY 18TH 1875

NEW YORK: 40 Broadway, James C. Connelley, Supt.  
 BOSTON: 100 State Street, James C. Connelley, Supt.  
 PHILADELPHIA: 100 Arch Street, James C. Connelley, Supt.  
 CHICAGO: 128 La Salle Street, James C. Connelley, Supt.  
 ST. PAUL: 100 W. Wabash Street, James C. Connelley, Supt.  
 S. ANTONIO: 100 W. Wabash Street, James C. Connelley, Supt.  
 DENVER: 100 W. Wabash Street, James C. Connelley, Supt.  
 S. FRANCISCO: 100 W. Wabash Street, James C. Connelley, Supt.

ATTORNEYS FOR THE AGENCY:  
 GEORGE A. BISHOP, New York. Gen. S. GEORGE PRINCE, Chicago.

D. W. Mear, Counsel, Ill.

**\$1,000 REWARD!**  
**ARREST**  
**OLIVER CURTIS PERRY,**  
 alias James Curtis Perry, alias "Curt" Perry,  
 alias Oliver Moore,  
**FOR TRAIN ROBBERY.**



*Oliver C. Perry*  
 July 18 1881

The above libel is a good one but  
 fails. His face is not so full  
 and the line are wrong.

**PROCLAMATION**  
**\$5,000<sup>00</sup>**  
**REWARD**

FOR EACH OF SEVEN ROBBERS OF THE TRAIN at  
 WINSTON, MO., JULY 15, 1881, and THE MURDER of  
 CONDUCTOR WESTFALL

**\$ 5,000.00**  
 ADDITIONAL for ARREST or CAPTURE  
**DEAD OR ALIVE**  
**OF JESSE OR FRANK JAMES**  
 THIS NOTICE TAKES the PLACE of ALL PREVIOUS  
 REWARD NOTICES.  
 CONTACT SHERIFF, DAVIESS COUNTY, MISSOURI  
 IMMEDIATELY  
 T. T. CRITTENDEN, GOVERNOR  
 STATE OF MISSOURI  
 JULY 26, 1881



**BILLY THE KID.**

**\$500 REWARD.**

I will pay \$500 reward to any person or persons who will capture William Bonny, alias The Kid, and deliver him to any sheriff of New Mexico. Satisfactory proofs of identity will be required.

**LEW. WALLACE,**  
 Governor of New Mexico.

# PRIAME EXPERIMENTÁLNE LIMITY

- energia urýchľovača  $\Rightarrow$  max hmotnosť častice

# PRIAME EXPERIMENTÁLNE LIMITY

- energia urýchľovača  $\Rightarrow$  max hmotnosť častice
- LEP (1989–2000):  $\leq 208$  GeV,  $e^+e^-$
- Tevatron (1987–):  $\leq 1.96$  TeV,  $p\bar{p}$
- LHC (jeseň 2009–):  $\leq 14$  TeV,  $pp$

# PRIAME EXPERIMENTÁLNE LIMITY

- energia urýchľovača  $\Rightarrow$  max hmotnosť častice
- LEP (1989–2000):  $\leq 208$  GeV,  $e^+e^-$  ✓
- Tevatron (1987–):  $\leq 1.96$  TeV,  $p\bar{p}$  ✓
- LHC (jeseň 2009–):  $\leq 14$  TeV,  $pp$

vylúčené hodnoty  $m_H$ :

$\leq 114.4$  GeV a  $(160, 170)$  GeV pri 95% C.L.

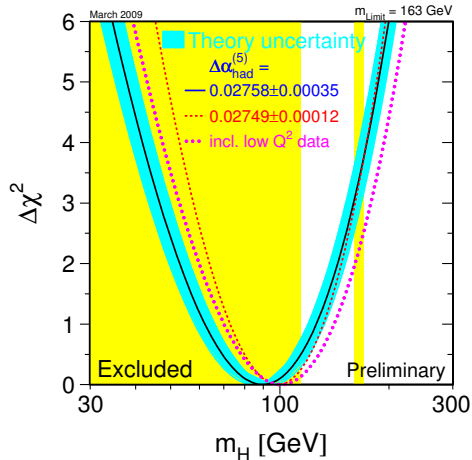
# NEPRIAME EXPERIMENTÁLNE LIMITY

nepriamy limit (68% C.L.):

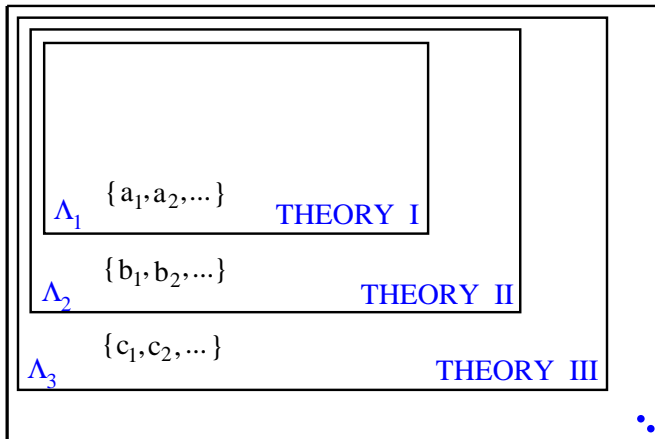
$$m_H = 90^{+36}_{-27} \text{ GeV}$$

priamy + nepriamy (95% C.L.):

$$m_H < 191 \text{ GeV}$$



# POZNATEĽNOSŤ SVETA *per partes*



# PROBLÉMY S HIGGSOM: *teória*

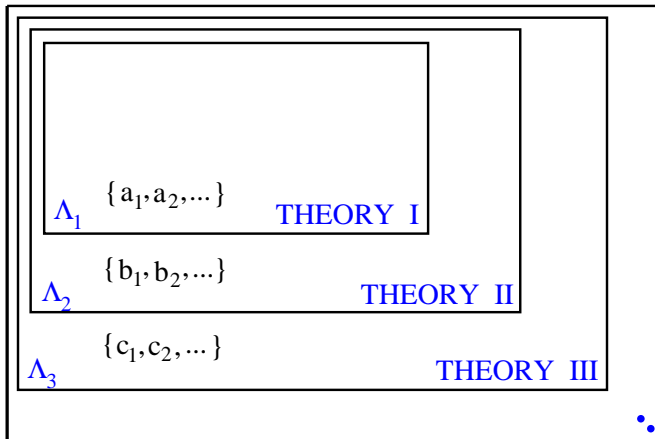
- ŠM nezahŕňa **gravitáciu**

# PROBLÉMY S HIGGSOM: *teória*

- ŠM nezahŕňa **gravitáciu**
- gravitačná škála:  $M_{Planck} = \sqrt{\hbar c/G} \approx 10^{17} M_W$



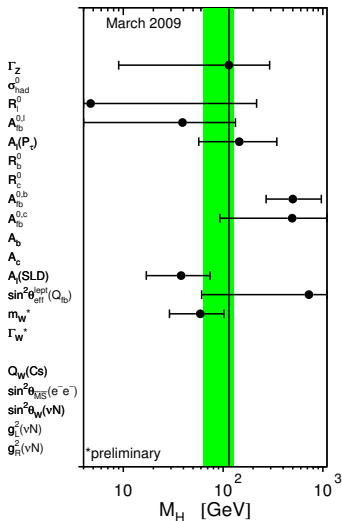
# PROBLÉMY S HIGGSOM: *teória*



# PROBLÉMY S HIGGSOM: *teória*

- ŠM nezahŕňa **gravitáciu**
- gravitačná škála:  $M_{Planck} = \sqrt{\hbar c/G} \approx 10^{17} M_W$
- $m_H \rightarrow M_{Planck}$

# PROBLÉMY S HIGGSOM: *experiment*



- fit **všetkých** ŠM pozorovateľných:

15%

- fit  $m_H$ -najcitlivejších ŠM pozorovateľných:

< 2%

## DVA NÁZORY ZA VŠETKÝCH...

- *“Several people believe, and I share this view, that the Higgs scheme is a convenient parameterization of our ignorance concerning the dynamics of spontaneous symmetry breaking, and elementary scalar particles do not exist.”*

Jean Iliopoulos

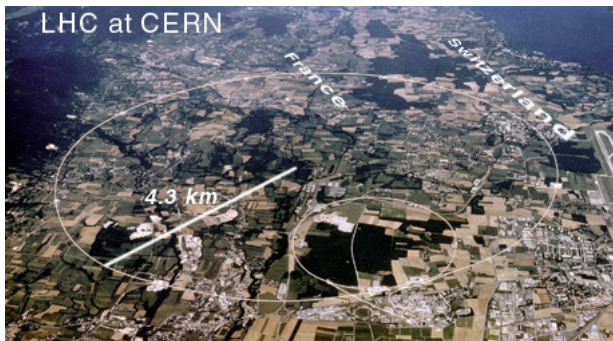
- *“A claim that scalar elementary particles were unlikely to occur in elementary particle physics at currently measurable energies...makes no sense.”*

Ed Wilson

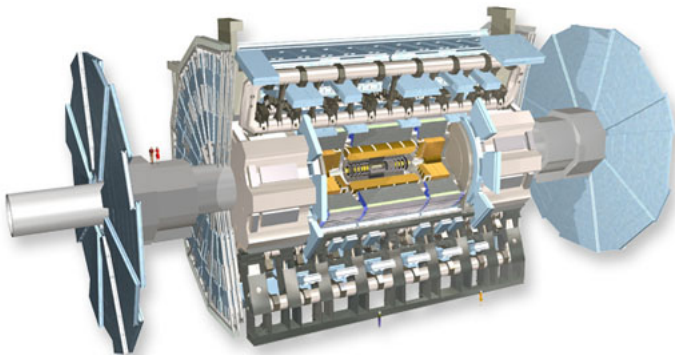
# OBSAH

- 1 Symetrie vo fyzike
- 2 Štandardný model
- 3 Higgsov bozón
- 4 LHC: STROJ NA HIGGSA**

# NAJVÄČŠÍ PP URÝCHL'OVAČ



# NAJVÄČŠÍ PP URÝCHL'OVÁČ



# THE LHC D-DAY: *Sep 10, 2008*

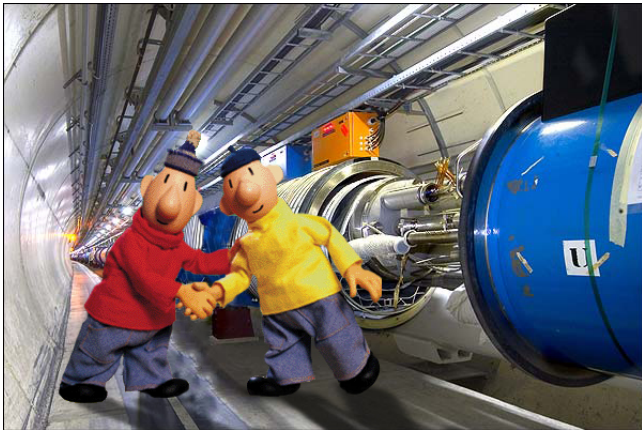




# THE LHC D-DAY: *Sep 10, 2008*



...AND Sep 19, 2008



# CONCLUSIONS...

# CONCLUSIONS...

...NOT YET!

# CONCLUSIONS...

...NOT YET!

LHC restart: September 2009