

HIGGSOLÓGIA PRE ZAČIATOČNÍKOV

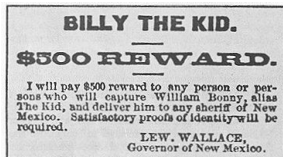
Mikuláš Gintner

Prírodovedné kolokvium, UMB

22.2.2008

PRELÚDIUM

Higgsov bozón - najhl'adanejšia častica dnešných dní!



- Prečo ho hl'adáme?
- Ako sme pokročili?
- Čo ak ho nenájdeme?

LHC = najväčšie a najdrahšie experimentálne zariadenie sveta
(Leto 2008?)

OUTLINE

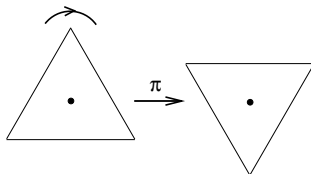
- 1 SYMETRIE
- 2 ŠTANDARDNÝ MODEL
- 3 HIGGSOV BOZÓN

OUTLINE

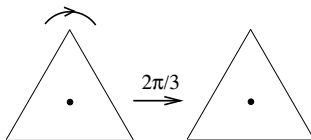
- 1 SYMETRIE
- 2 Štandardný model
- 3 Higgsov bozón

GEOMETRICKÉ SYMETRIE

transformácia:



symetria:



SYMETRIE VO FYZIKE

Chicago Bulls vs. Los Angeles Lakers



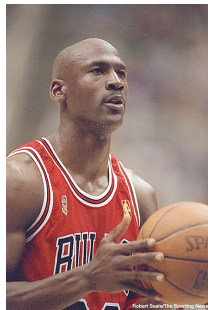
Chicago
 $\vec{F} = m\vec{a}$

SYMETRIE VO FYZIKE

Chicago Bulls vs. Los Angeles Lakers



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



L.A.
?

SYMETRIE VO FYZIKE

Chicago Bulls vs. Los Angeles Lakers



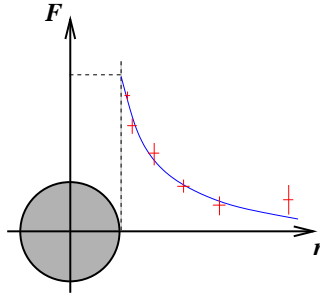
Chicago
 $\vec{F} = m\vec{a}$



L.A.
 $\vec{F} = m\vec{a}$

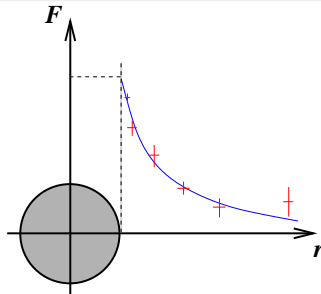
SYMETRIE V ČASTICOVEJ FYZIKE

štúdium zákonov v
makrosvete:



SYMETRIE V ČASTICOVEJ FYZIKE

štúdium zákonov v
makrosvete:

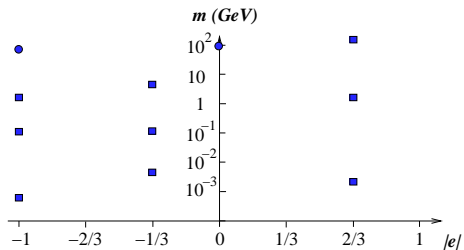


základná
experimentálna
metóda časticovej
fyziky:

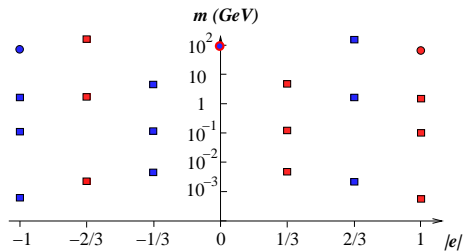
zrážky častíc \rightarrow pozorovanie produktov
DÁTA \rightarrow SYMETRIE \rightarrow TEÓRIA

- časopriestorové symetrie
- interné symetrie

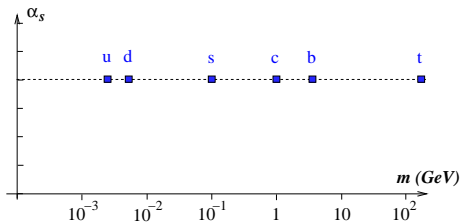
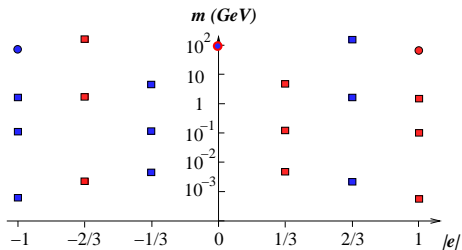
INTERNÉ SYMETRIE



INTERNÉ SYMETRIE



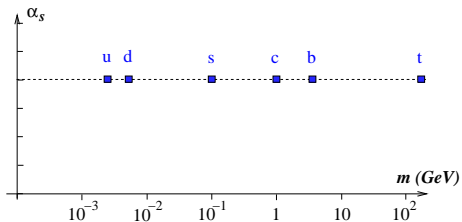
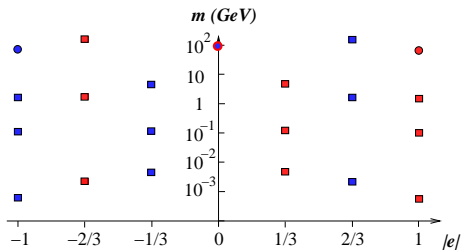
INTERNÉ SYMETRIE



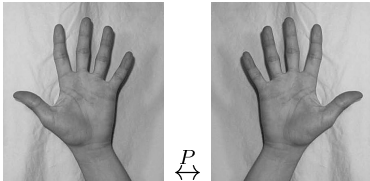
INTERNÉ SYMETRIE

transformácie častíc:
podľa ireducibilných
reprezentácií grúp symetrií

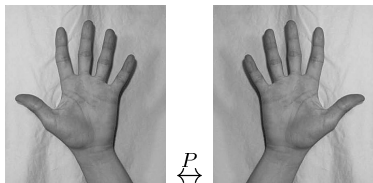
pohybová rovnica:
invariantná voči
transformáciám symetrií



PARITA



PARITA



- **fermióny:** e^- , μ^- , τ^- ,
kvarky
- **bozóny:** fotón, gluóny, W^\pm ,
Z, **Higgsov bozón**

ľavý fermión \xleftrightarrow{P} pravý fermión

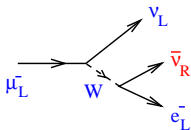
OUTLINE

- 1 Symetrie
- 2 ŠTANDARDNÝ MODEL
- 3 Higgsov bozón

NARUŠENIE PARITY

interakcia	P je symetria
gravitačná	áno
elmag	áno
silná	áno
slabá	nie

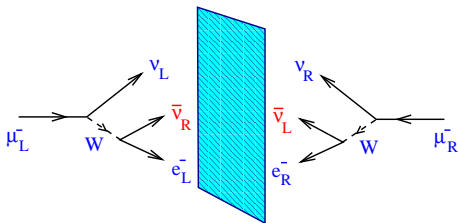
slabo interagujú len **ľavé fermióny** a **pravé antifermióny** (Lee, Yang, Wu)



NARUŠENIE PARITY

interakcia	P je symetria
gravitačná	áno
elmag	áno
silná	áno
slabá	nie

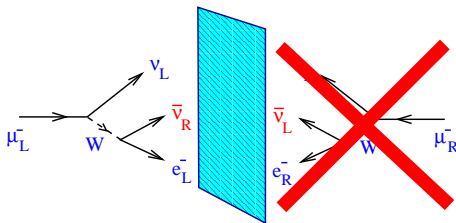
slabo interagujú len **ľavé fermióny** a **pravé antifermióny** (Lee, Yang, Wu)



NARUŠENIE PARITY

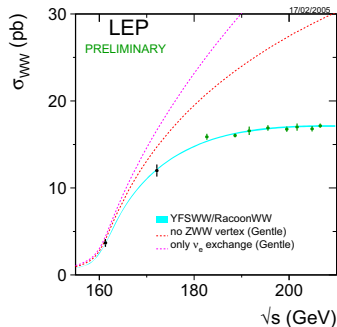
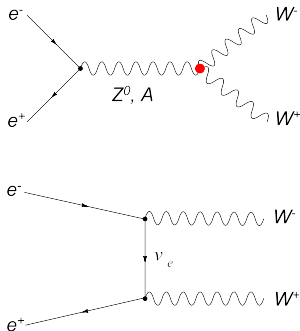
interakcia	P je symetria
gravitačná	áno
elmag	áno
silná	áno
slabá	nie

slabo interagujú len **ľavé fermióny** a **pravé antifermióny** (Lee, Yang, Wu)



KALIBRAČNÁ SYMETRIA

- predpovedá existenciu kalibračných bozónov (fotón, gluóny, W^\pm , Z)
- predpovedá tvar interakcií



PRINCÍPY VÝSTAVBY

- maximálne narušenie parity slabými interakciami
- kalibračná symetria

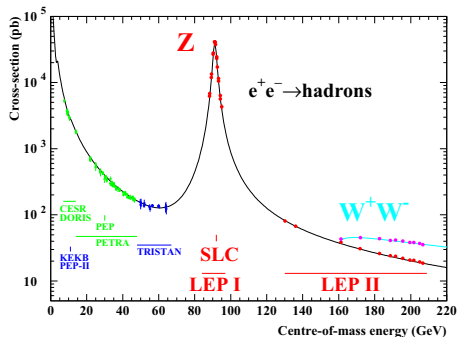


Štandardný model silných a elektroslabých interakcií:

- 25 častíc (24 objavených)
- 18 parametrov (zmeraných 17)

TESTOVANIE ŠM: MILNÍKY

- **neutral current interactions**, 1973, neutrino-nucleon scatt.
- **W , Z discovery**, 1983, $p\bar{p}$ -collisions at CERN
- **Z -peak** high-precision measurements, the 90s, e^+e^- LEP(89-95), SLC
- **top quark** discovery, 1995, Tevatron, $p\bar{p}$ at 2 TeV
- **LEP2 ≤ 208 GeV**, 1996-2000, W^+W^- production
- **LHC**, 2008?, pp at 14 TeV

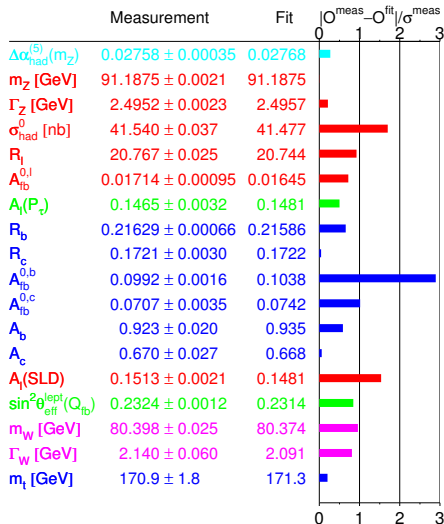


FITOVANIE ŠM 2007

Experimentálne ohraničenia ŠM:
(zima 2007)

fitované hodnoty parametrov ŠM
 $\vec{p} = (p_1, \dots, p_{18})$ minimalizujú
 funkciu:

$$\chi^2(\vec{p}) = \sum_{k=1}^n \frac{[X_k^{(exp)} - X_k^{(th)}(\vec{p})]^2}{\sigma_k^2}$$



OUTLINE

- 1 Symetrie
- 2 Štandardný model
- 3 HIGGSOV BOZÓN**

PROBLÉM S HMOTNOSŤAMI

teória:

- kalibračná symetria $\Rightarrow \forall$ kalib. bozóny bez hmotnosti
- KS + narušenie parity $\Rightarrow \forall$ fermióny bez hmotnosti

realita: bez hmotnosti sú iba

- kalibračné bozóny: photon, gluóny
- fermióny: e-neutrino(?)
PDG 2007 world average: $m_{\nu_e}^2 = (-1.1 \pm 2.4)\text{eV}^2$ [^3H β -rozpad]

HIGGSOVO POLE

bezhmotné častice
+
vesmír vyplnený poľom
Higgsových bozónov

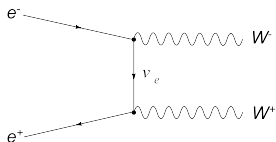
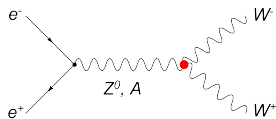
Higgsovo pole “kladie odpor”
pohybu častíc
⇓
častice efektívne získavajú
hmotnosť

HIGGSOVO POLE

bezhmotné častice
+
vesmír vyplnený poľom
Higgsových bozónov

Higgsovo pole “kladie odpor”
pohybu častíc

⇓
častice efektívne získavajú
hmotnosť

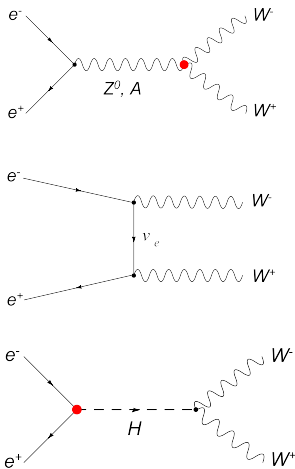


HIGGSOVO POLE

bezhmotné častice
+
vesmír vyplnený poľom
Higgsových bozónov

Higgsovo pole “kladie odpor”
pohybu častíc

⇓
častice efektívne získavajú
hmotnosť



HMOTNOSŤ HIGGSOVHO BOZÓNU

teória nepredpovedá M_H
experiment zatiaľ Higgsa neobjavil

priamy dolný limit:

$$M_H > 114 \text{ GeV}$$

nepriamy limit:

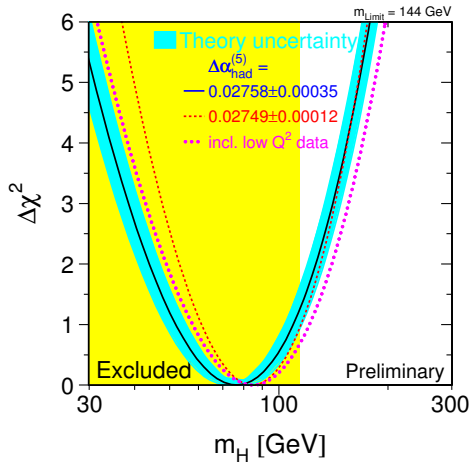
$$M_H = 76^{+33}_{-24} \text{ GeV}$$

priamy + nepriamy:

$$M_H < 182 \text{ GeV} \quad @ 95\% \text{ C.L.}$$

“teoretický” limit:

$$125 \text{ GeV} < M_H < 175 \text{ GeV}$$



PROBLÉMY S HIGGSOM

ŠM nezahŕňa gravitáciu \Rightarrow nie je to TOE

fundamentálna škála gravitácie — Planckova hmotnosť:

$$\hbar, c, G \Rightarrow \boxed{M_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 10^{19} \text{ GeV}} \approx 10^{17} M_Z \sim \text{blcha}/10^3$$

ŠM experimentálne overený po $E \approx 200 \text{ GeV}$

“nová fyzika” nad touto škálou modifikuje M_H :

$$M_H^2 = (M_H^{(0)})^2 + \Delta, \quad \Delta \sim \Lambda_{NP}^2$$

gravitácia:

$$\Delta \sim M_P^2 \sim 10^{38} \text{ GeV}^2, \quad M_H^2 = 10^4 \text{ GeV}^2 \Rightarrow \text{fine-tuning problem}$$

MOŽNÉ RIEŠENIA

...nová fyzika, ale...

akákoľvek modifikácia ŠM Higgso

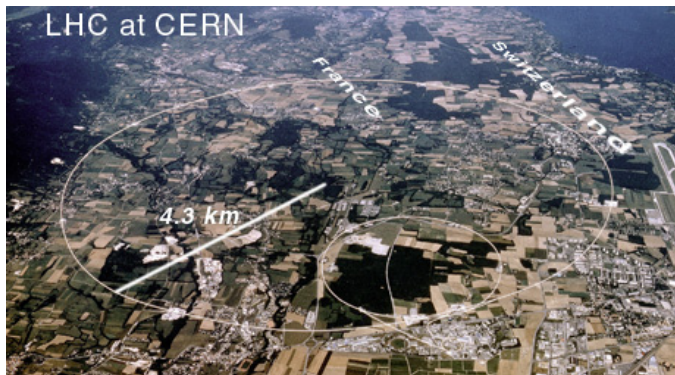


amplitúdy typu $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$ divergujú pri $E \sim 1 \text{ TeV}$

hypotézy:

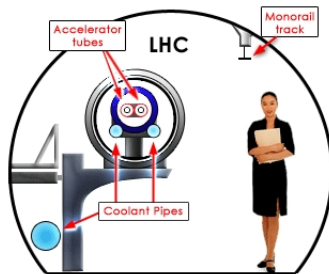
- Higgsovo pole bez Higgso $\Rightarrow \Lambda_{NP} \approx 1 \text{ TeV}$
- Supersymetrie = veľa Higgsov + veľa nových častíc
 $m \approx 1 \text{ TeV}$
- Higgs + extra priestorové dimenzie $\Lambda_G \rightarrow 1 \text{ TeV}$
- atď'.

LHC: STROJ NA HIGGSA

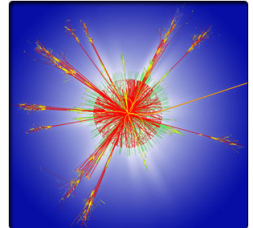
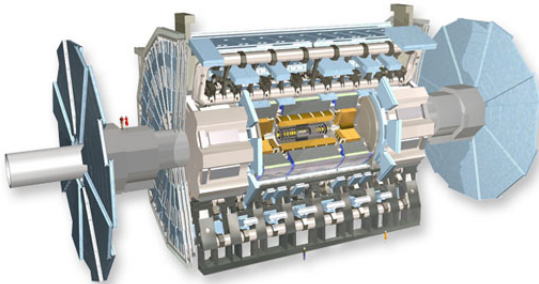


proton + proton, $E = 14 \text{ TeV}$
leto 2008 ?

LHC: STROJ NA HIGGSA



LHC: STROJ NA HIGGSA



ZHRNUTIE

- Higgsov bozón je najhl'adanejšia častica (skoro už “po záruke”)
- HB rieši otázku hmotností častíc pri zachovaní KS
- teoretické problémy so ŠM HB: nová fyzika?
- LHC to rozhodne!