

Úvod do částicové fyziky

část' 4: Higgsov mechanismus

Boris Tomášik

Univerzita Mateja Bela, Fakulta přírodních věd
ČVUT, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

CERN, 3.-5.6.2013

Kalibračné symetrie

- k potenciálnej energii možno vždy pridať konštantu a fyzika sa nezmení. Toto platí aj pre potenciál (=potenciálna energia / náboj)
- skalárny a vektorový potenciál

$$\vec{E} = -\nabla\varphi - \frac{\partial\vec{A}}{\partial t}$$
$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$$

- kalibračná transformácia nemení E a B

$$\vec{A} \rightarrow \vec{A} - \nabla\vartheta(\vec{x}, t) \quad \varphi \rightarrow \varphi + \frac{\partial\vartheta(\vec{x}, t)}{\partial t}$$

Kalibračná symetria v kvantovej mechanike

teória s nabitými časticami a
elektromagnetickými poliami sa nezmení pri
transformácii

$$\vec{A} \rightarrow \vec{A} - \nabla \vartheta(\vec{x}, t) \quad \varphi \rightarrow \varphi + \frac{\partial \vartheta(\vec{x}, t)}{\partial t}$$

$$\psi(\vec{x}, t) \rightarrow \psi(\vec{x}, t) e^{i q \vartheta(\vec{x}, t) / \hbar}$$

Kalibračná symetria v kvantovej mechanike

teória s nabitými časticami a
elektromagnetickými poliami sa nezmení pri
transformácii

$$\vec{A} \rightarrow \vec{A} - \nabla \vartheta(\vec{x}, t) \quad \varphi \rightarrow \varphi + \frac{\partial \vartheta(\vec{x}, t)}{\partial t}$$

$$\psi(\vec{x}, t) \rightarrow \psi(\vec{x}, t) e^{i q \vartheta(\vec{x}, t) / \hbar}$$

Kvantová elektrodynamika je kalibračná teória
invariantná voči grupe kalibračných
transformácií U(1)
(súvis so zachovaním náboja)

Iné kalibračné teórie

Všetky interakcie sú popísané ako kalibračné teórie. Odlišujú sa len tým, voči akým transformáciám sa nemenia. (Sú invariantné každá voči inej grupe transformácií.)

Kvantová chromodynamika: $SU(3)$

Teória elektroslabých interakcií: $SU(2) \times U(1)$

Hmotnosť častíc

Kalibračná symetria nepripúšťa intermediálne bozóny s hmotnosťou!

QED: fotón je nehmotná častica ✓

QCD: gluón je nehmotná častica ✓

EW: W a Z bozóny majú hmotnosť ✗

Nie sú prípustné ani fermióny s hmotnosťou

ale kvarky aj leptóny majú hmotnosť ✗

Čo je to hmotnosť?

(Zotrvačná hmotnosť:) je to miera snahy objektu nemeniť svoj pohybový stav.

Je to miera energie objektu pri nulovej hybnosti

$$E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$$

Čo je to hmotnosť?

(Zotrvačná hmotnosť:) je to miera snahy objektu nemeniť svoj pohybový stav.

Je to miera energie objektu pri nulovej hybnosti

$$E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$$

Vyrobme častice energiu pri nulovej hybnosti - energiu z interakcie.

(Toto je povolené kalibračnou symetriou.)

Čo je to vákuum?

Vákuum nie je prázdny priestor!

Vákuum je stav s najnižšou energiou.

Väčšina fyzikálnych polí (napríklad EM pole) má v stave s najnižšou energiou nulovú hodnotu.

Čo je to vákuum?

Vákuum nie je prázdny priestor!

Vákuum je stav s najnižšou energiou.

Väčšina fyzikálnych polí (napríklad EM pole) má v stave s najnižšou energiou nulovú hodnotu.

Higgs (Brout, Englert, Guralnik, Hagen, Kibble):
Existuje skalárne pole, ktorá má najnižšiu energiu vtedy, keď má nenulovú hodnotu.
Toto pole interaguje s kalibračnými bozónmi.

Higgsov mehanizmus



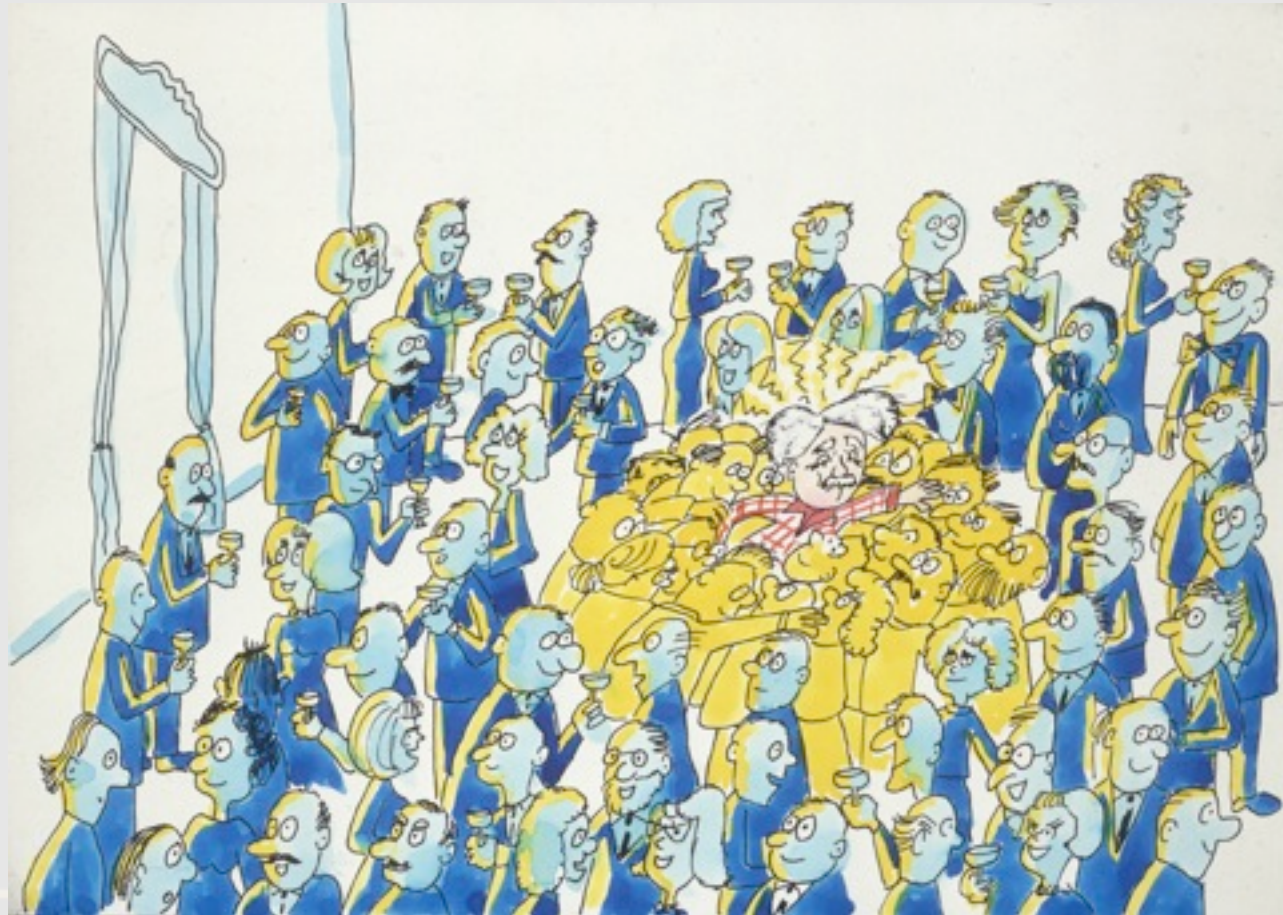
Higgsov mehanizmus



Higgsov mehanizmus



Higgsov mehanizmus



Higgsov mehanizmus



Higgsov mehanizmus

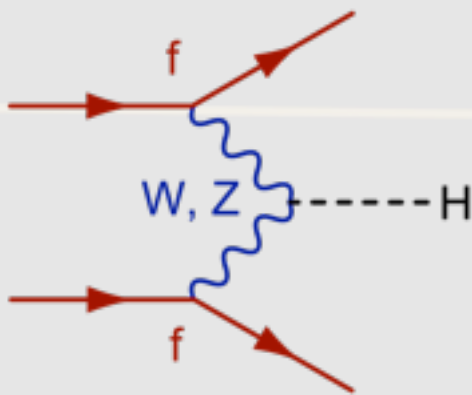
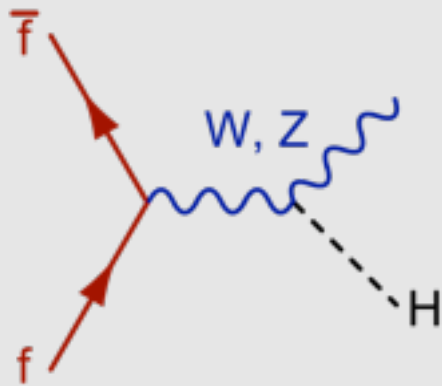


Hmotnosť častíc

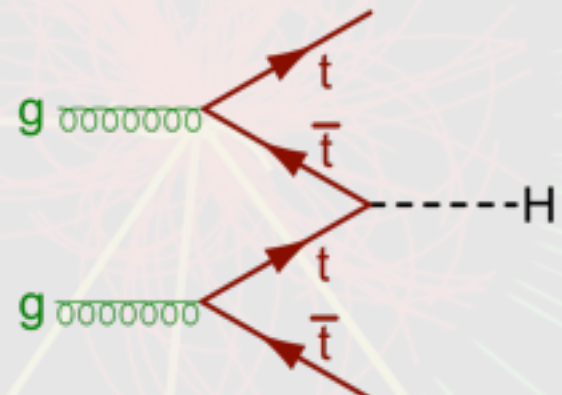
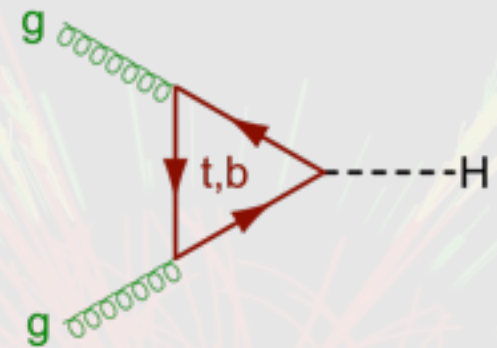
- ▶ je priamo úmerná strednej hodnote Higgsovho poľa
- ▶ fermióny: hmotnosť je úmerná aj sile, akou s nimi Higgsovo pole interaguje
 - ➔ najsilnejšia interakcia s top kvarkom
- ▶ Mechanizmus vedie k hmotnosti W a Z , kvarkov a leptónov

Higgsov bozón

je kvantom excitácie Higgsovho poľa
interaguje s časticami, ktorým dáva Higgsovo
pole hmotnosť

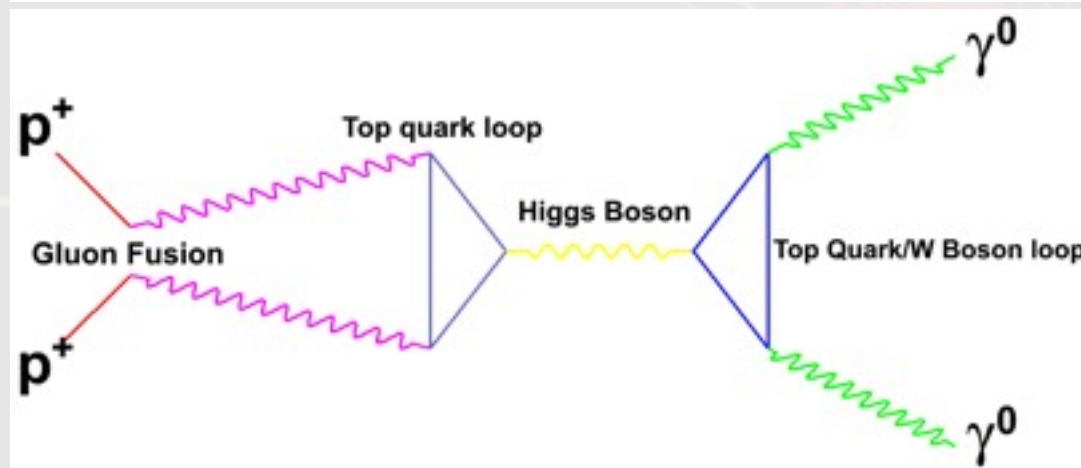
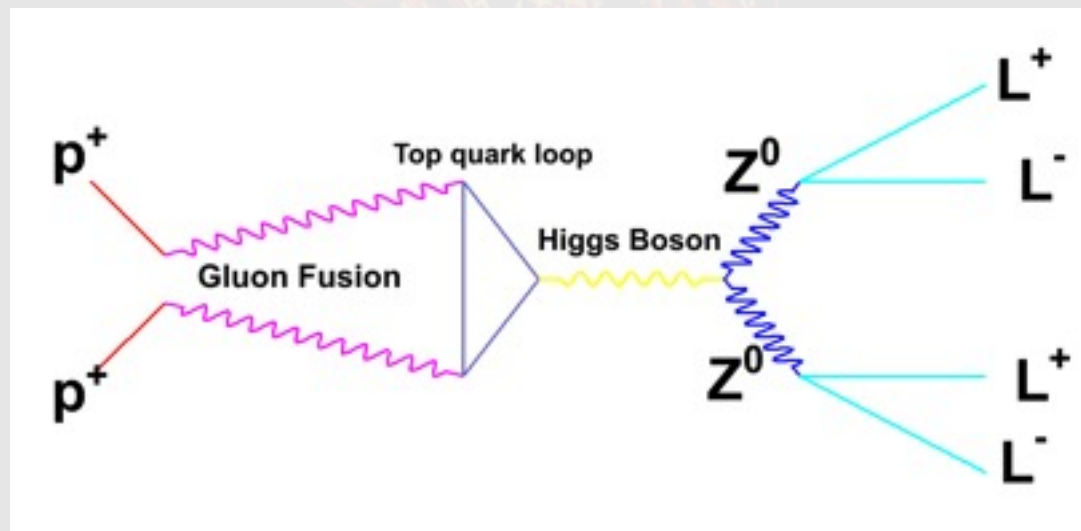


Hlavné procesy
produkcie na LHC



Pozorovanie Higgsovho bozónu

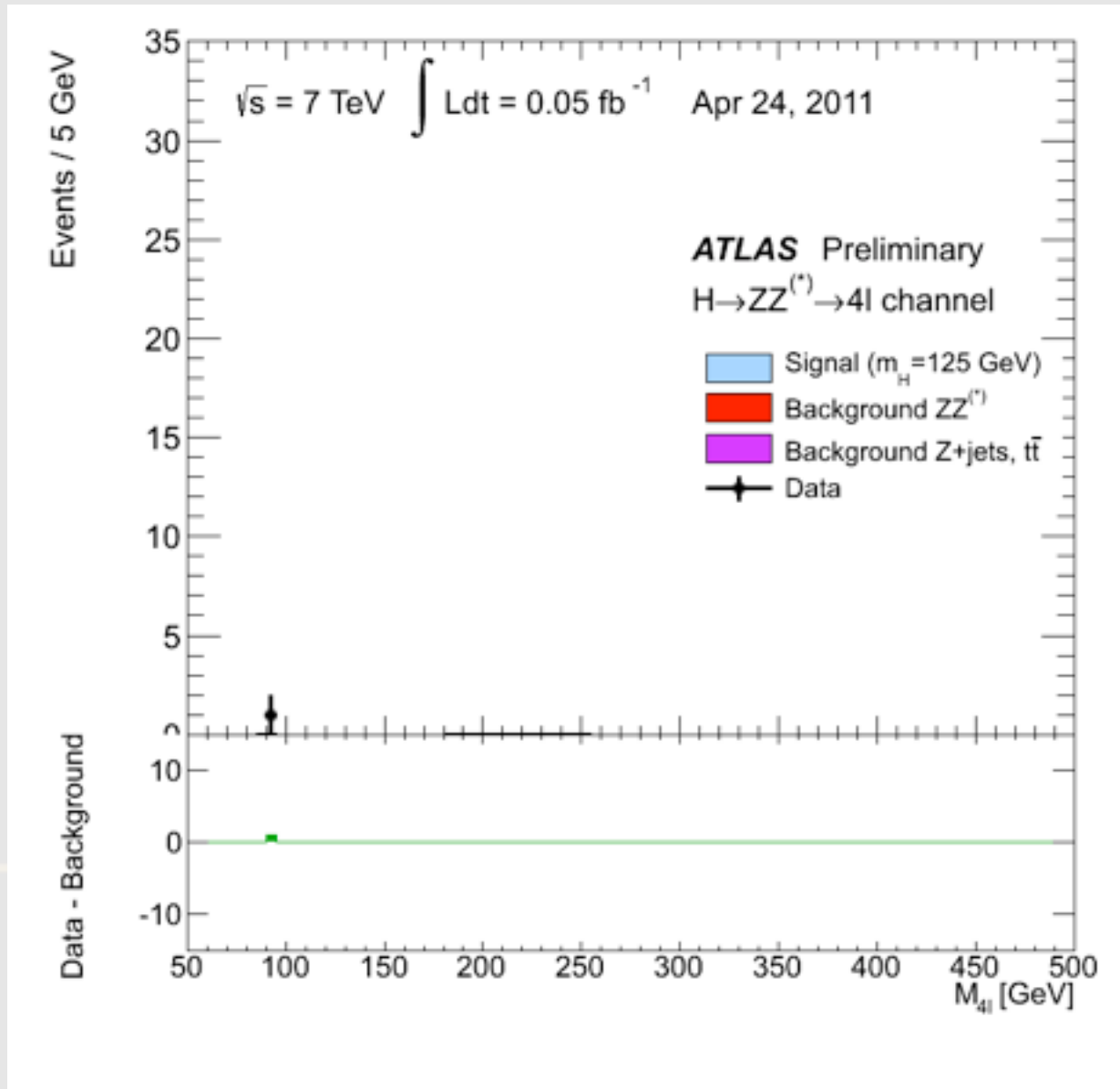
Na pozorovanie najpriaznivejšie rozpadové procesy:



Signál v kanáli $H \rightarrow ZZ \rightarrow IIII$



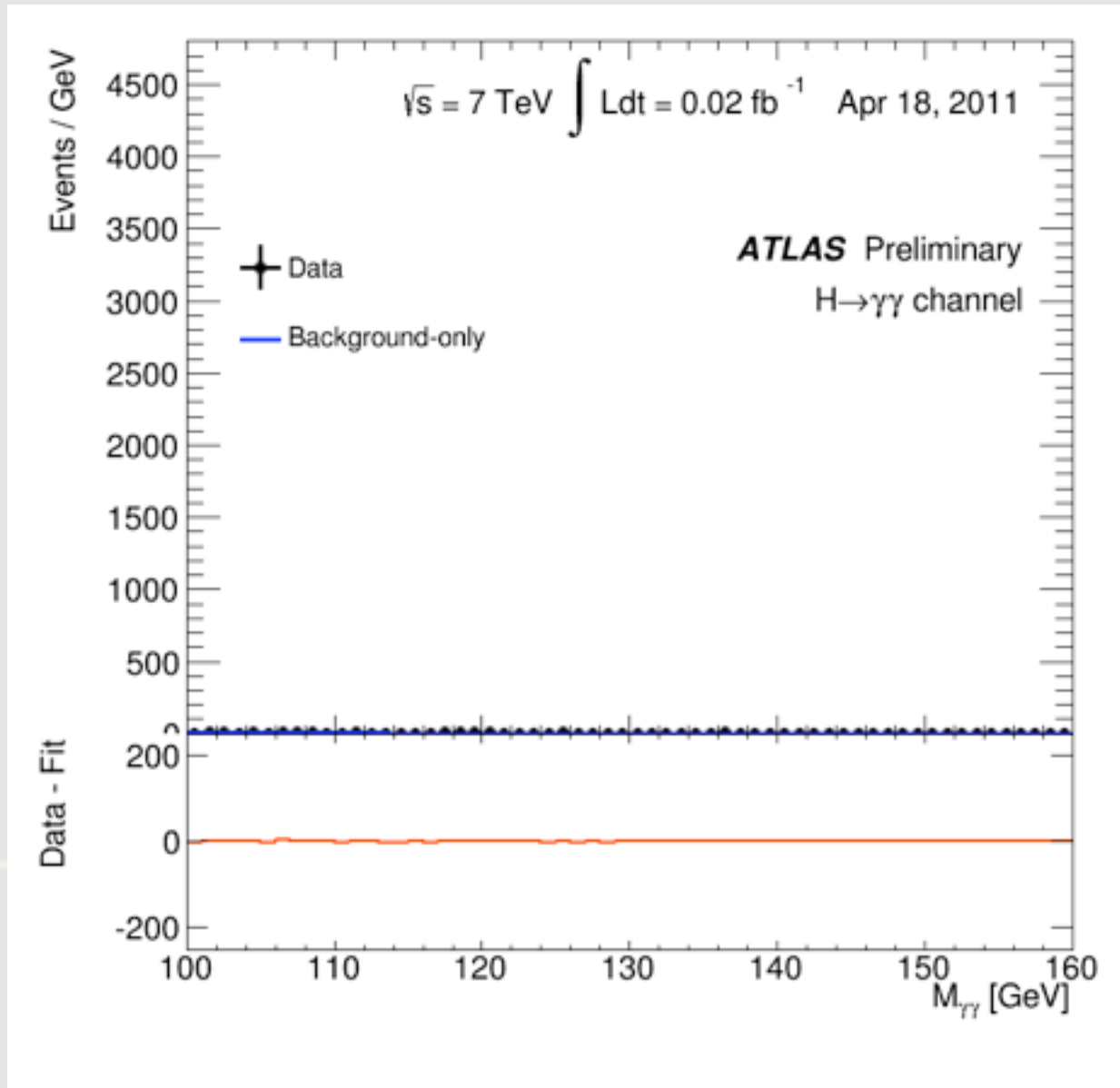
Signál v kanáli $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$



Signál v kanáli $H \rightarrow \gamma\gamma$

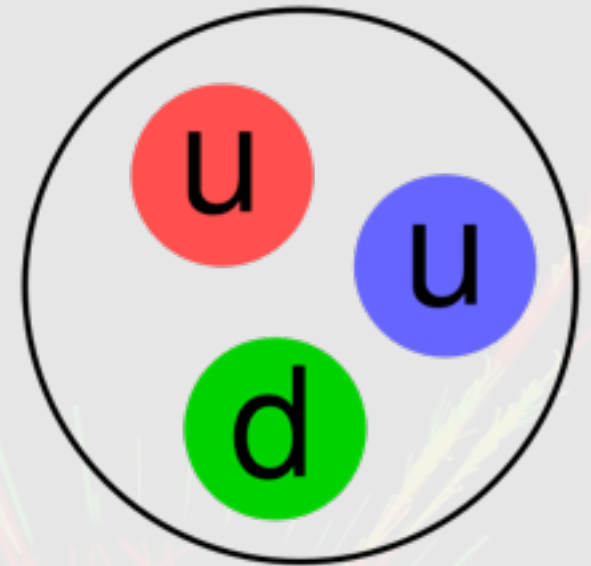


Signál v kanáli $H \rightarrow \gamma\gamma$



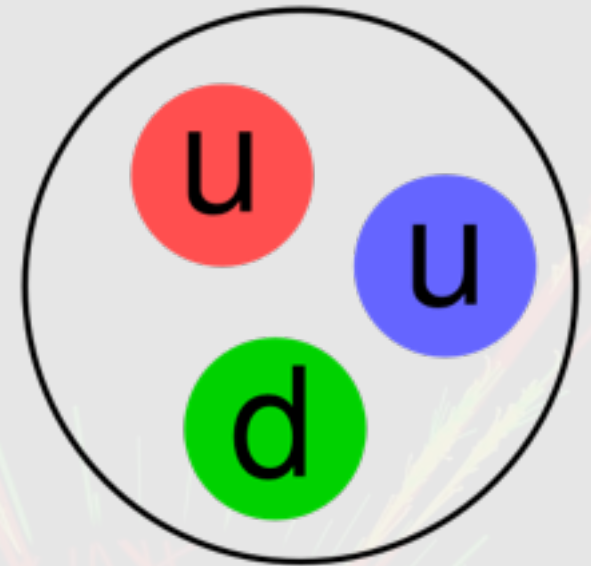
Higgsov mechanismus nie je zodpovedný za hmotnosť protónov

- protóny aj neutróny sa skladajú z (3) kvarkov



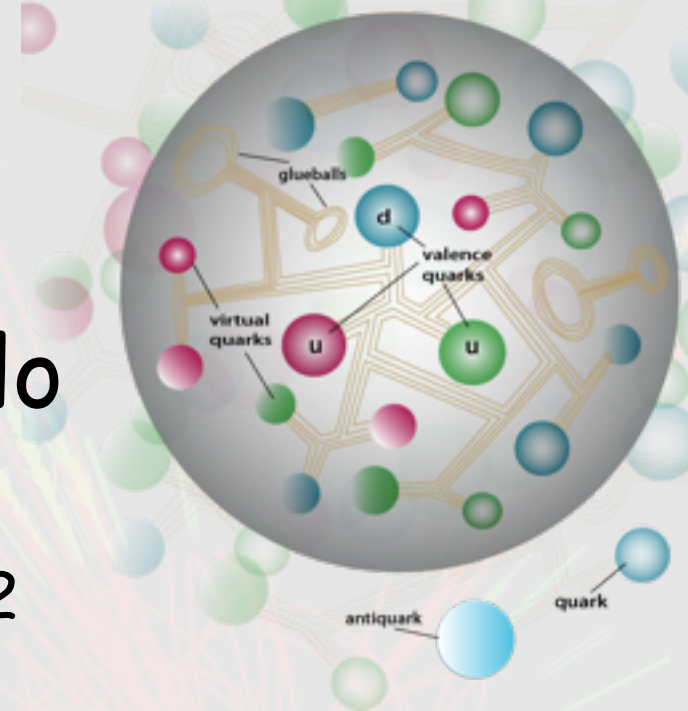
Higgsov mechanizmus nie je zodpovedný za hmotnosť protónov

- protóny aj neutróny sa skladajú z (3) kvarkov
- hmotnosti kvarkov sú okolo $5 \text{ MeV}/c^2$, ale hmotnosť p a n je okolo $940 \text{ MeV}/c^2$



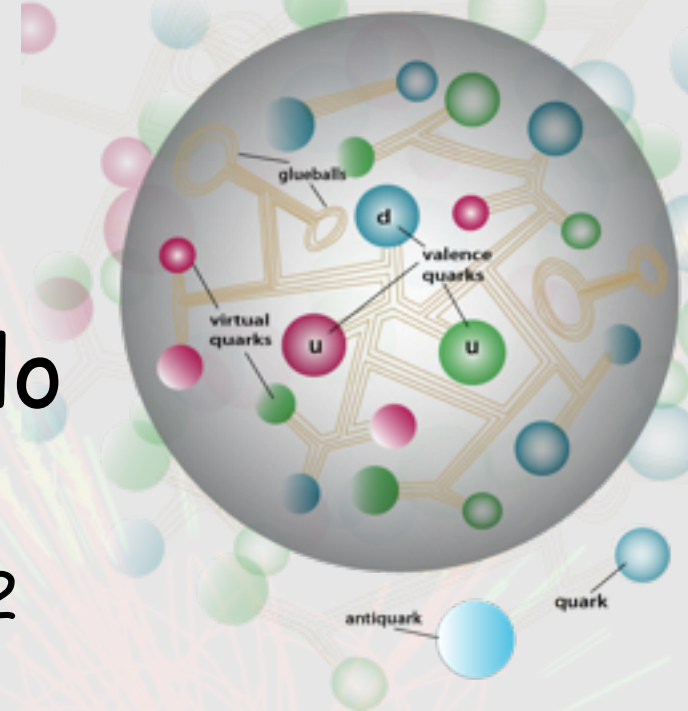
Higgsov mechanizmus nie je zodpovedný za hmotnosť protónov

- protóny aj neutróny sa skladajú z (3) kvarkov
- hmotnosti kvarkov sú okolo $5 \text{ MeV}/c^2$, ale hmotnosť p a n je okolo $940 \text{ MeV}/c^2$



Higgsov mechanizmus nie je zodpovedný za hmotnosť protónov

- protóny aj neutróny sa skladajú z (3) kvarkov
- hmotnosti kvarkov sú okolo $5 \text{ MeV}/c^2$, ale hmotnosť p a n je okolo $940 \text{ MeV}/c^2$
- protón získava hmotnosť **silnou** interakciou kvarkov s kvarkovým kondenzátom vo vákuu



Higgsov mechanizmus je zodpovedný za

- hmotnosť elektrónu
- ➔ veľkosť atómov a ich väzbové energie
 - ➔ chemické väzby medzi atómami

TEDA ZA CELÚ CHÉMIU!!!

Higgsov mechanizmus a bozón

- všetko je vyplnené Higgsovým poľom
- interakciou s Higgsovým poľom získavajú hmotnosť W a Z bozóny, leptóny a kvarky
- väčšina hmotnosti hadrónov (teda aj protónov a neutrónov) je však zo spontánneho narušenia chirálnej symetrie
- Higgsov bozón je kvantom excitácie Higgsovho poľa

Čo ďalej...?

stredoskolak.casticova-fyzika.cz

čoskoro: www.svetcastic.sk

podujatia pre stredoškóľákov:

<http://fyzika.uniza.sk/mc>

<http://masterclasses.casticova-fyzika.cz/>

<http://www.physicsmasterclasses.org/>

- Medzinárodné masterclasses (aj regionálne)
- Cascade projekty (SK)

Pracovné listy a hry:

http://www.fpv.umb.sk/kat/kf/private/8_vyucovanie.htm