Urýchľovačová fyzika

(letný semester 2014)

vyučujúci: ***M.Gintner, I.Melo***
prednáška: *2 hod/týždeň*
cvičenie: *2 hod/týždeň*

<u>odporúčaná literatúra</u>:

M. Bombara, ***M. Gintner, I. Melo****:*

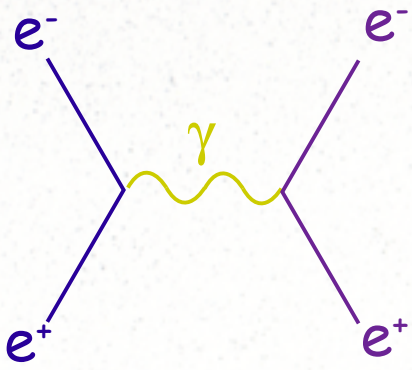
Invitation to Elementary Particles

ISBN 978-80-554-0620-6, January 2013, EDIS Zilina

časticová ZOO: antičastice

excitácie kvantového poľa → časticе / antičastice

- dva prejavy jednej materiálnej entity: *kvantového poľa*
- rovnaká hmotnosť
- rovnaký spin
- opačné náboje
- častica s antičasticou môžu anihilovať



časticová ZOO: bozóny a fermióny

- spin je základná charakteristika kvantového poľa ($\Rightarrow$ častíc)
- skladá sa s orbitálnym momentom hybnosti
- nie je dôsledkom mechanického pohybu častíc

možné hodnoty: $$S = \hbar\sqrt{s(s+1)}, \qquad s = \frac{n}{2}, \quad n=0,1,2,\ldots$$

bozóny $s = 0, 1, 2, \ldots$

V danom stave sa môže nachádzať ľubovoľný počet bozónov.

⇩

častice síl, laser, ...

fermióny $s = 1/2, 3/2, \ldots$

V danom stave sa môže nachádzať len jeden fermión.

(Pauliho princíp)

⇩

elektróny v atóme, pevné objekty, ...

časticová ZOO: silové častice

4 fundamentálne sily:

- gravitačná → gravitón (?)
- elektromagnetická → fotón
- silná → 8 gluónov
- slabá → W^+, W^-, Z bozóny

bozóny

gravitačná sila

MAKROsvet: Newton 1686 - univerzálny gravitačný zákon

Einstein 1915 - všeobecná teória relativity

mikroSVET: nemáme kvantovú verziu teórie gravitačnej sily

gravitačná sila je veľmi slabá, najslabšia zo štvorice fund. síl → jej vplyv na javy mikrosveta je zanedbateľný

Príklad: Spočítajte pomer gravitačnej a elektrickej sily, ktorými priťahuje protón elektrón v atóme vodíka.

$$\frac{F_G}{F_E} = \frac{4\pi\epsilon_0 \kappa m_p m_e}{e^2} = \approx 4\times 10^{-40}$$

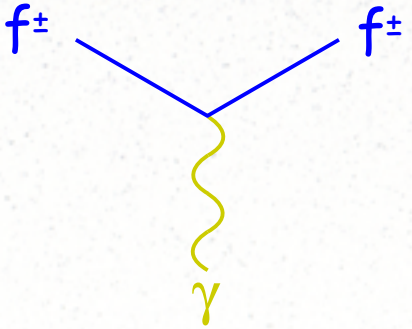
elektromagnetická interakcia

MAKROsvet: Maxwell 1861 - klasická teória elmag poľa

mikroSVET: kvantová elektrodynamika (QED)
S-I.Tomonaga, J.Schwinger, R.P.Feynman, F.Dyson
polovica 20-teho storočia

- nekonečný dosah
- príťažlivá aj odpudivá
- nosičom interakcie je fotón → nulová hmotnosť (v=c), nulový elektrický náboj

elmag interakčný vrchol pre FD:

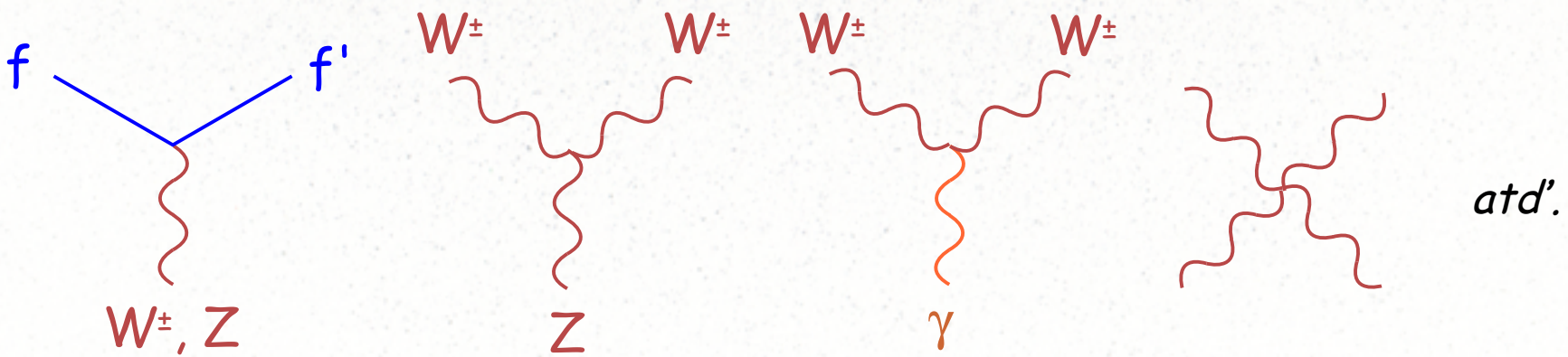


slabá interakcia

slabá a silná interakcia: ťažko rozpoznateľné sily v MAKROsvete
kvôli krátkemu dosahu (slabá sila ≈ 10^{-18} m)

slabá sila

- rádioaktívny β-rozpad (A.H.Becquerel, 1896)
- čiastočná teória slabých interakcií (E.Fermi, 1934)
- zjednotená teória slabých a elmag interakcií
  (S.Glashow, S.Weinberg, A.Salam, koniec 60-tych rokov 20.st.)
- 3 nosiče interakcií: W^+, W^-, Z bozóny … nenulová hmotnosť, el. náboj



silná interakcia

- krátkodosahová, $\approx 10^{-15}$ m
- najsilnejšia zo štyroch
- zodpovedná za 90% hmotnosti objektov MAKROsveta
- 3 druhy (farby) silných nábojov: red, blue, green
- 8 nosičov interakcií → gluóny: nulová hmotnosť, nulový el. aj slabý náboj
  nenulový silný náboj
- kvantová chromodynamika (QCD)

silná interakcia: viazané stavy

silná interakcia narastá so vzdialenosťou

kvarky ani gluóny nie je možné od seba ľubovoľne vzdialiť

existujú vo forme viazaných stavov s nulovým silným nábojom

HADRÓNY

BARYÓNY

qqq

MEZÓNY

$q\bar{q}$

vzďaľovaním kvarkov narastá energia systému

keď dostatočne narastie, premení sa na hmotnosť nových kvarkov

$(q\text{-}\bar{q}) \rightarrow (q\text{---}\bar{q}) \rightarrow (q\text{-----}\bar{q}) \rightarrow (q\text{--}q\bar{q}\text{--}\bar{q}) \rightarrow (q\text{-}\bar{q})\ (q\text{-}\bar{q})$

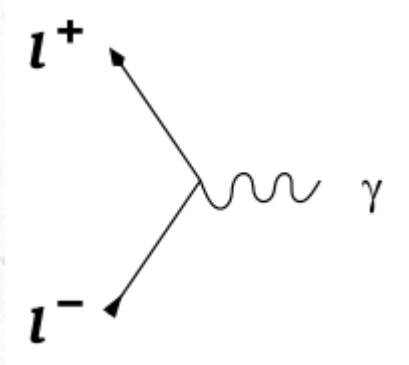
časticová ZOO: silové častice - sumár

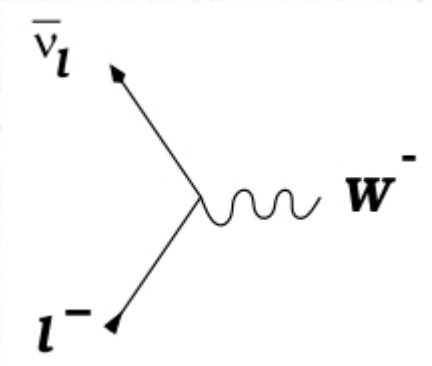
interakcia	častica	hmotnosť	spin	náboj elek.	náboj slab.	náboj fareb.
elmag.	fotón	0	1	0	0	0
slabá	$W^{\pm}$, Z	80.3, 91.2 GeV	1	±1, 0	✓	0
silná	gluóny (8)	0	1	0	0	✓
gravit.	gravitón	0	2	0	0	0

časticová ZOO: leptóny

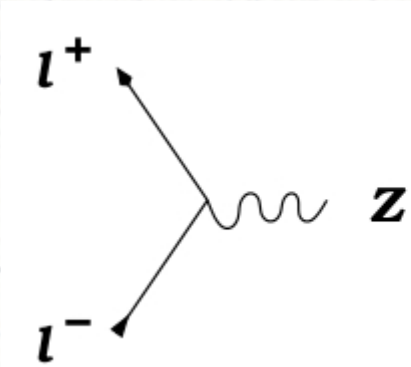
- fermióny, ktoré neinteragujú silno

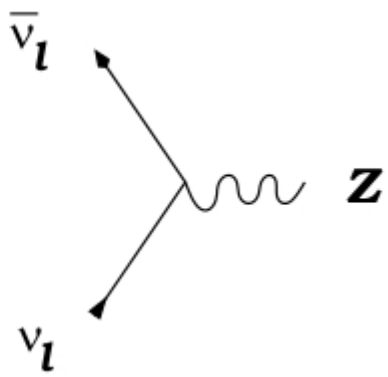
LEPTONS	ANTI-LEPTONS
• electron, e^-	• positron, e^+
• muon, μ^-	• anti-muon, μ^+
• tauon, τ^-	• anti-tauon, τ^+
• electron neutrino, ν_e	• electron anti-neutrino, $\bar{\nu}_e$
• muon neutrino, ν_μ	• muon anti-neutrino, $\bar{\nu}_\mu$
• tauon neutrino, ν_τ	• tauon anti-neutrino, $\bar{\nu}_\tau$





lepton	mass (MeV)	electric charge
e^-	0.511	-1
μ^-	105.7	-1
τ^-	1776.8	-1
ν_e	$\leq 2 \times 10^{-6}$	0
ν_μ	≤ 0.19	0
ν_τ	≤ 18.2	0





časticová ZOO: kvarky

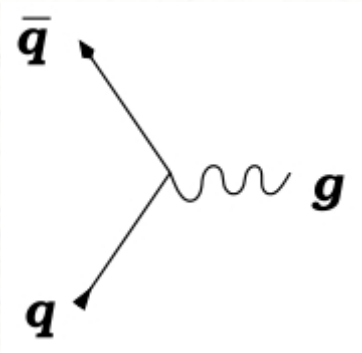
- fermióny, ktoré interagujú silno

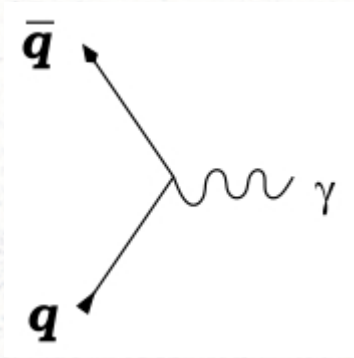
QUARKS

- up, u
- down, d
- charm, c
- strange, s
- top, t
- bottom, b

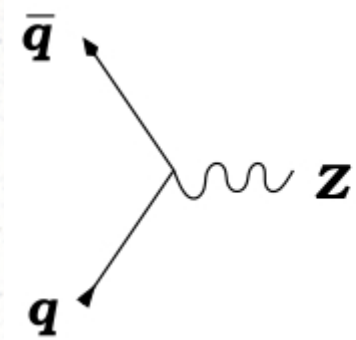
ANTI-QUARKS

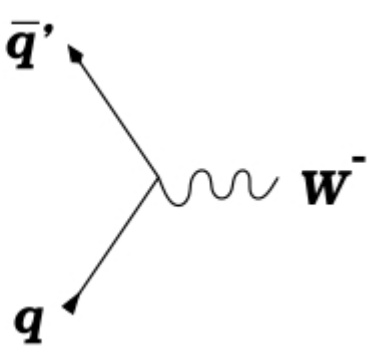
- anti-up, $\bar{u}$
- anti-down, $\bar{d}$
- anti-charm, $\bar{c}$
- anti-strange, $\bar{s}$
- anti-top, $\bar{t}$
- anti-bottom, $\bar{b}$





quark	mass (GeV)	electric charge
u	2.3×10^{-3}	$2/3$
d	4.8×10^{-3}	$-1/3$
c	1.28	$2/3$
s	9.5×10^{-2}	$-1/3$
t	173.5	$2/3$
b	4.18	$-1/3$





časticová ZOO: 3 generácie (rodiny)

1.generácia	2.generácia	3.generácia	elekt. náboj
ν_e	ν_μ	ν_τ	0
e	μ	τ	-1
u	c	t	$+2/3$
d	s	b	$-1/3$

hmotnosť

otázka, ktorá má váhu

Prečo majú W a Z bozóny nenulovú hmotnosť?
Prečo majú nenulovú hmotnosť fermióny?

odpoveďou je mechanizmus nazývaný

spontánne narušenie elektroslabej symetrie

SNS sa uskutočňuje v rôznych fyzikálnych systémoch:

- supravodič
- magnet
- ...

nie je doposiaľ jasné, akým spôsobom je tento mechanizmus realizovaný v prírode v prípade elelmentárnych častíc

najjednoduchší spôsob $\Rightarrow$ Higgsov bozón

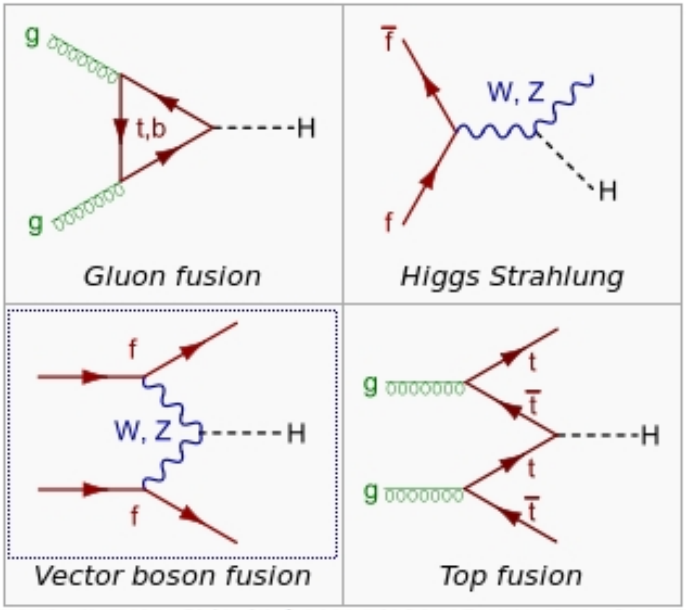
časticová ZOO: Higgsov bozón

Higgsov bozón

- hypotetická častica
- teória nepredpovedá hmotnosť
- spin = 0 $\Rightarrow$ bozón
- bola by to prvá elementárna častica so spinom iným ako 1/2 alebo 1
- sila interakcie úmerná hmotnosti častice, s ktorou interaguje
- SNES sa dá realizovať spôsobmi, ktoré nepredpovedajú existenciu Higgsovho bozónu alebo predpovedajú existenciu viacerých častíc Higgsovho typu

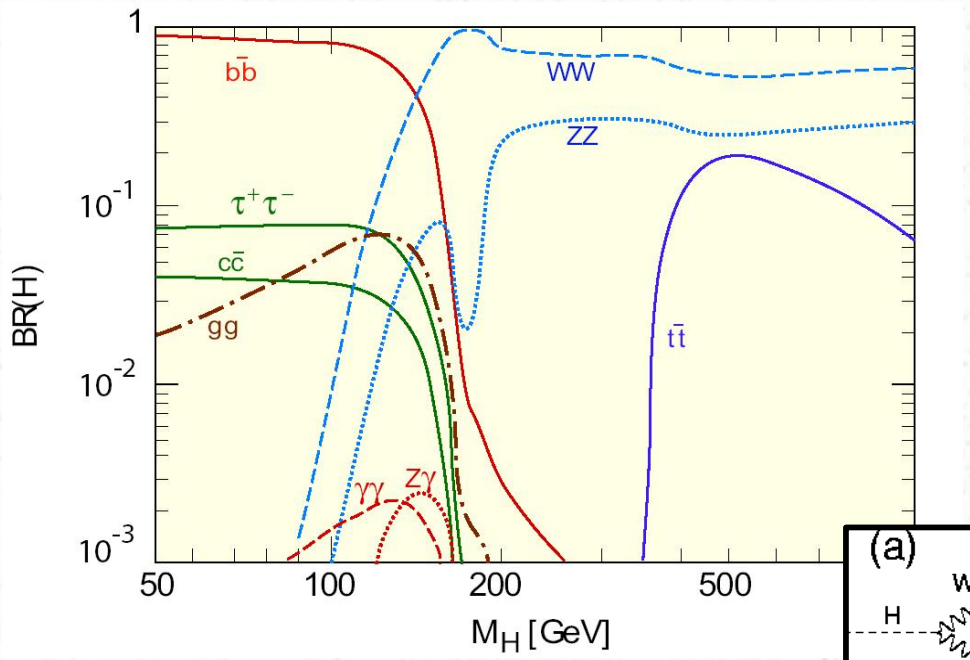
Higgsov bozón - teoretické predpovede

- LHC urýchľovač zráža protóny s protónmi
- teória predpovedá, že v takýchto zrážkach je možné vyprodukovať Higgsov bozón

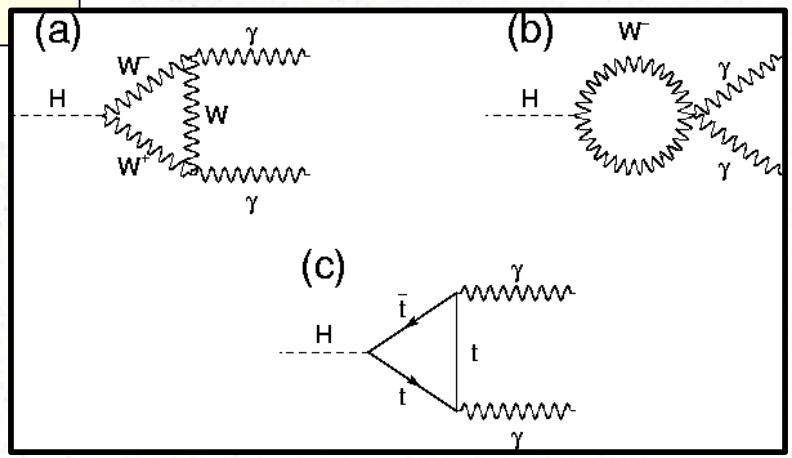


Higgsov bozón - teoretické predpovede

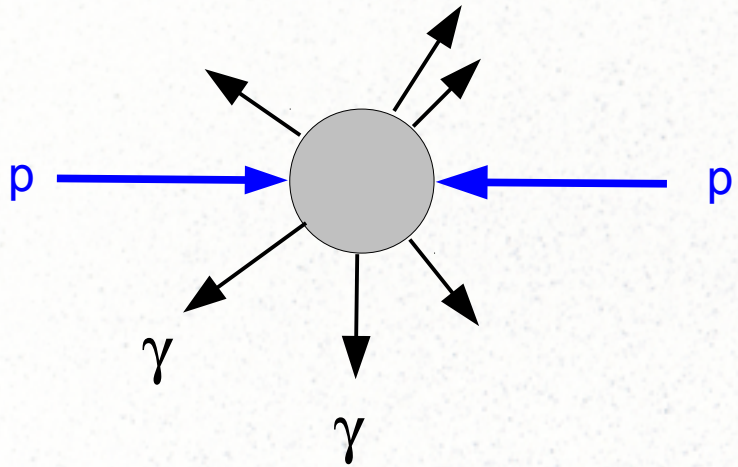
- Higgsov bozón by sa potom mohol rozpadnúť viacerými spôsobmi

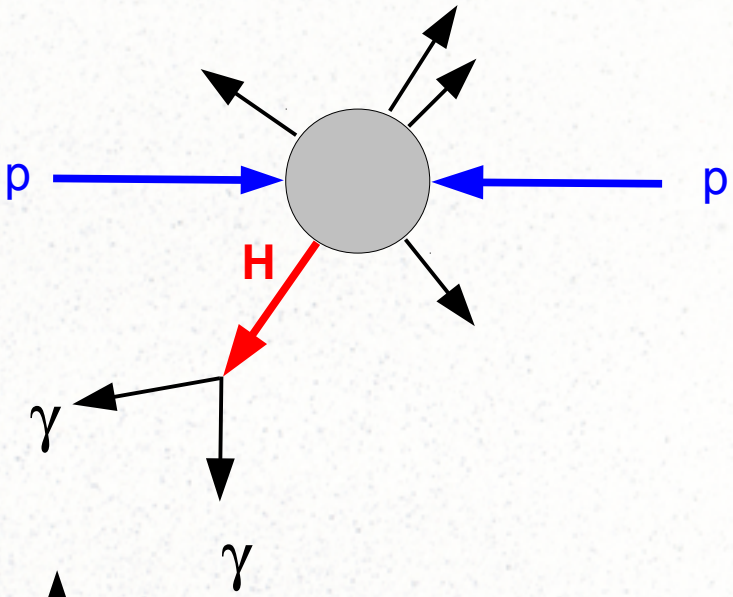


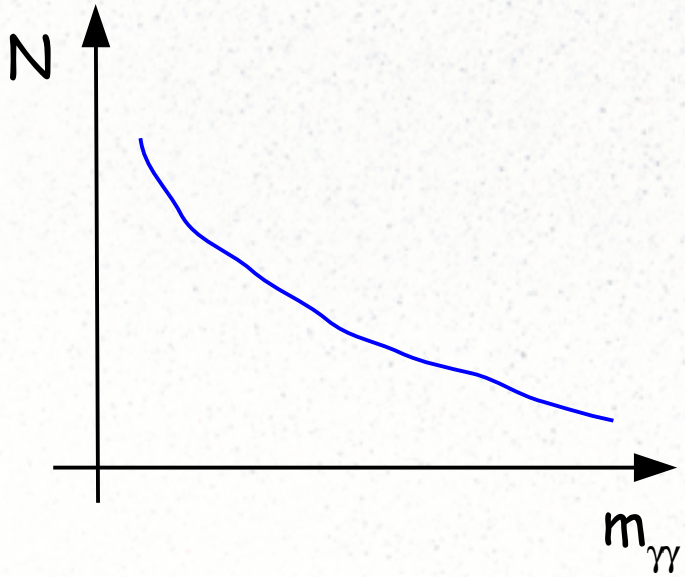
$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

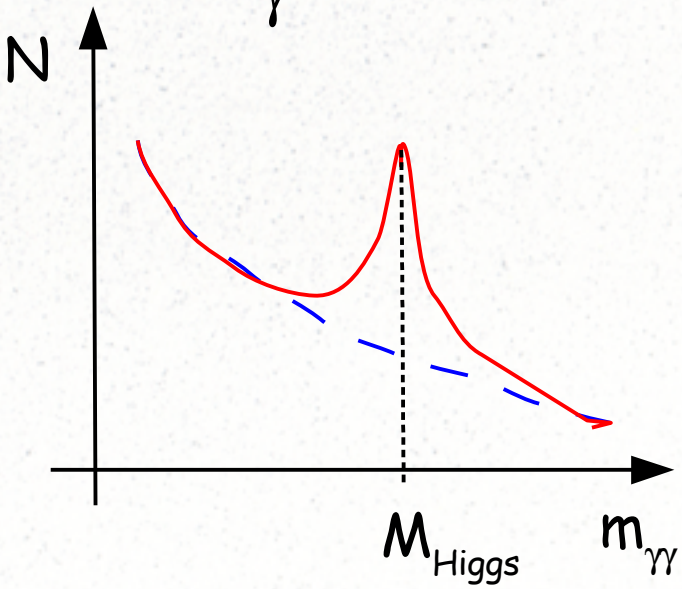


Higgsov bozón - teoretické predpovede





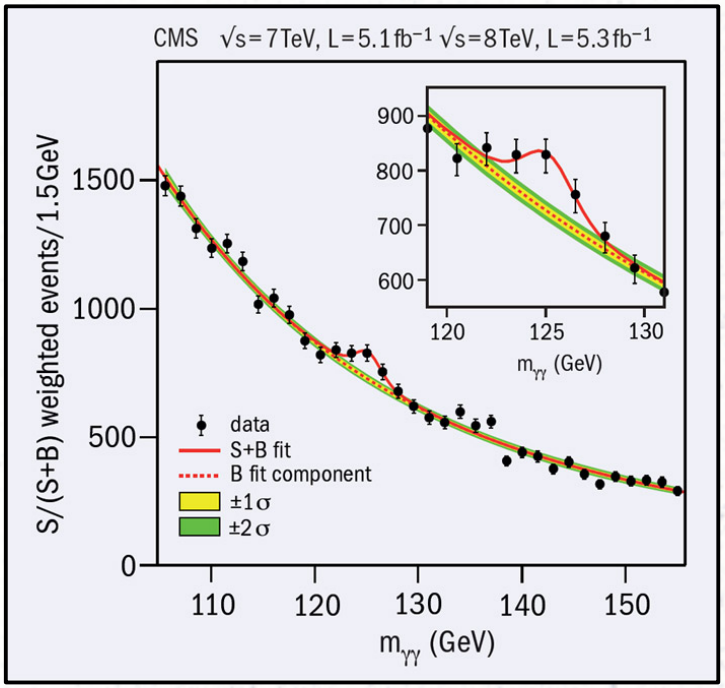
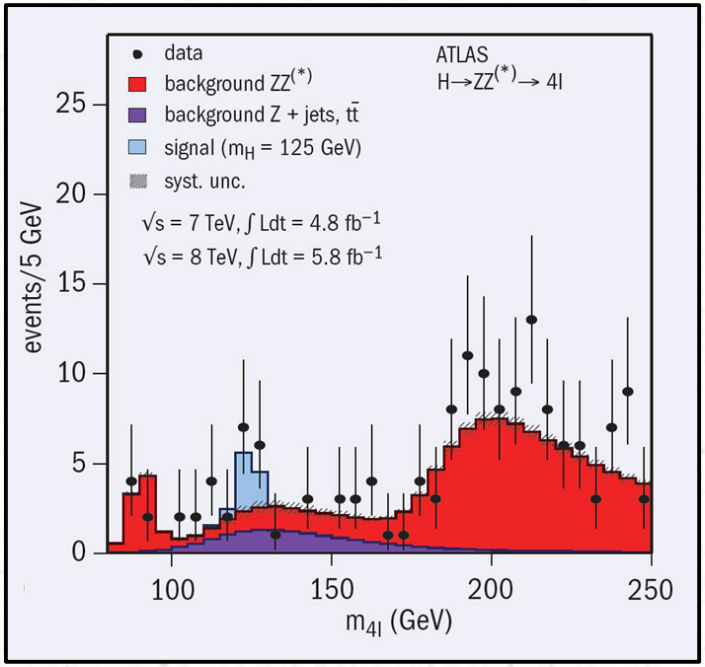
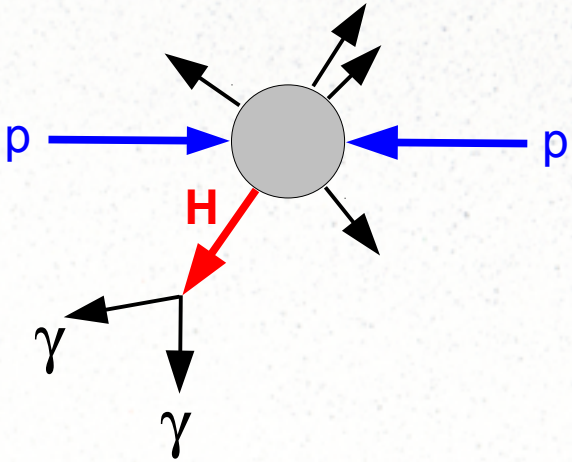
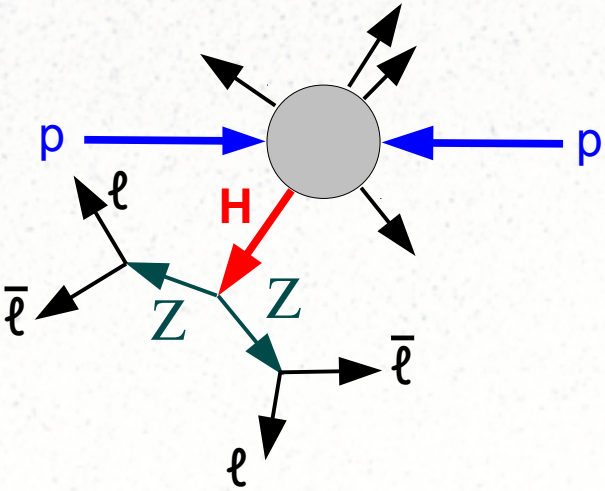




4.júl 2012

oznam objavu novej častice

možno
dlhoľadaný kandidát na
HIGGSov BOZÓN

4.júl 2012

bozón o hmotnosti
≈ 125 GeV