

Podivný mikrosvet

Mikuláš Gintner

Katedra fyziky

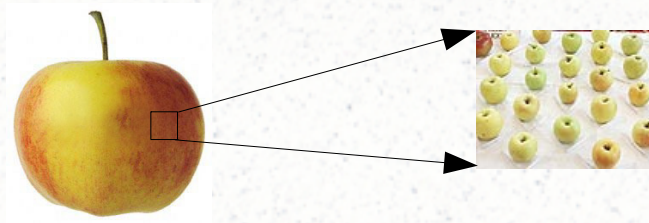
Žilinská univerzita

2014

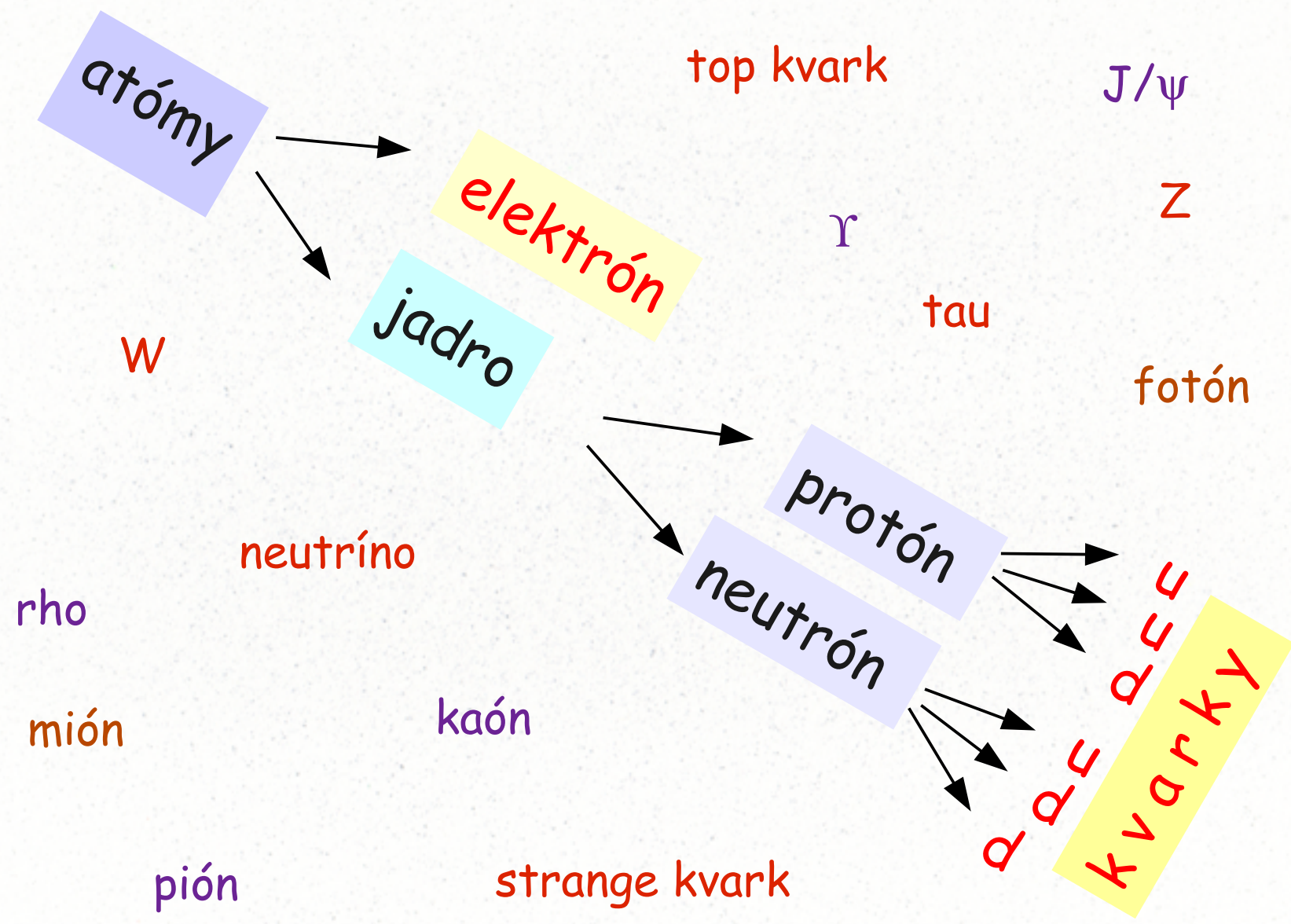


Klíčové poznatky o světě ...

hmota má diskrétnu štruktúru!



Atómami to len začalo ...



Elementárne častice ... fermióny

... majú spin $\frac{1}{2}$

1.generácia

ν_e
e
u
d

2.generácia

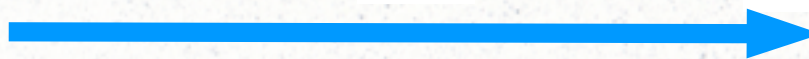
ν_μ
μ
c
s

3.generácia

ν_τ
τ
t
b

elekt. náboj

0
-1
$+2/3$
$-1/3$



hmotnosť

Elementárne častice ... bozóny

... majú spin 1

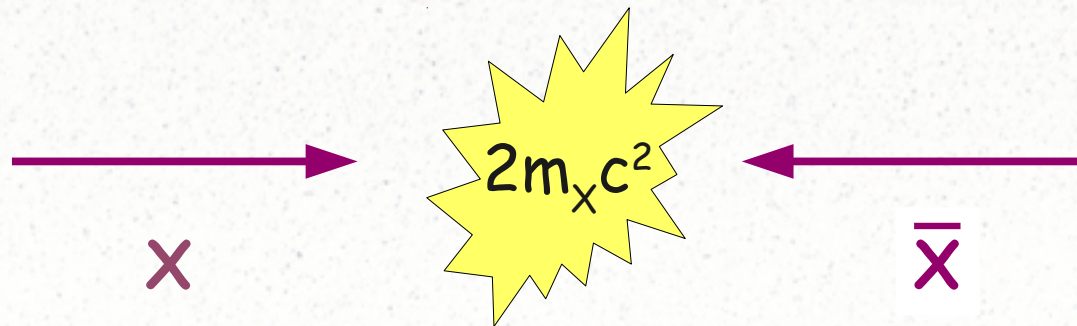
častica	hmotnosť	el. náboj
fotón	0	0
W^\pm	80 GeV	± 1
Z	91 GeV	0
gluóny (8)	0	0

Elementárne častice ... antičastice

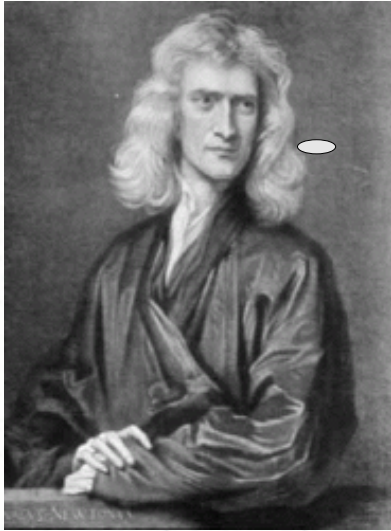
... každá častica má svoju antičasticu

... rovnaké hmotnosti

... opačné náboje



Prečo častice držia pokope ?



Sily!

you silly!

gravitačná

elmag

silná

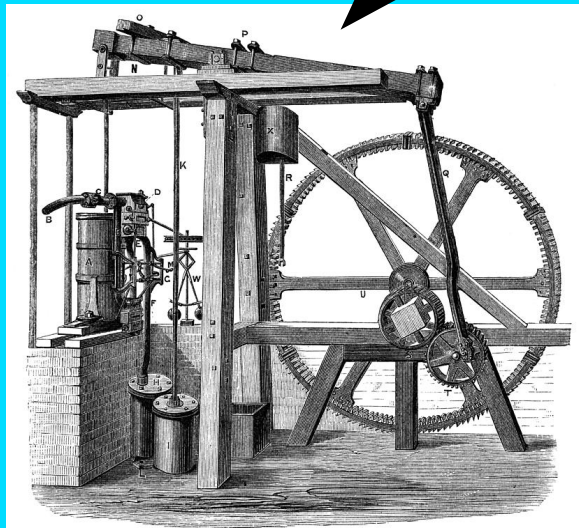
slabá



podivný mikrosvet

klasický

MAKRO



Watt's First Rotary Engine

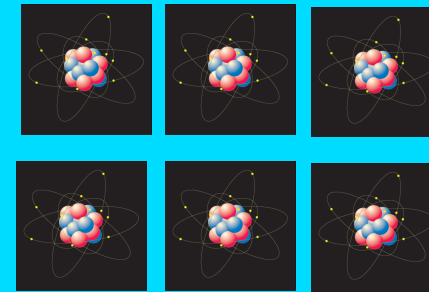
A. steam cylinder; B. steam pipe; C. throttle valve; D. steam valve; E. eduction valve; F. eduction pipe; G. valve gearing; H. condenser; I. air pump; K. air pump rod; L. foot valve; M. hand gear tappet rod; N. parallel motion; O. balance weight; P. rocking beam; Q. connecting rod; R. feed pump rod; S. sunwheel; T. planet wheel; U. fly wheel; W. governor; X. feed water cistern.

- bežná skúsenosť
- Newtonova fyzika

svet

kvantový
relativistický

mikro



- podivné
- proti intuícii
- nepredstaviteľné

podivný mikrosvet ... hmotnosť

hmotnosť sa zachováva

hmotnosť sa nezachováva

hmotnosť je forma energie

$$E = (m^2c^4 + p^2c^2)^{1/2}$$

$$E = m c^2$$

nulová hmotnosť - nie

nulová hmotnosť - áno

klasický

MAKRO

mikro

relativistický

... zachováva sa energia a hybnosť



... kinetickú energiu môžeme
"premeniť" na hmotnosť:

$$\bar{p}_A + \bar{p}_B = \bar{0}$$

$$E_A + E_B = M_X \cdot c^2$$

$$m_A + m_B \leq M_X$$



N častíc

... a naopak:

$$\bar{0} = \bar{p}_A + \bar{p}_B + \dots + \bar{p}_Z$$

$$M_X \cdot c^2 = E_A + E_B + \dots + E_Z$$

$$M_X \geq m_A + m_B + \dots + m_Z$$

... porovnanie hmotností

elektrón	1	0.5 MeV
protón	1 880	1 GeV
top kvark	344 000	175 GeV
jadro Au	370 000	
jablko	1×10^{29}	

podivný mikrosvet ... sily

zmena hybnosti

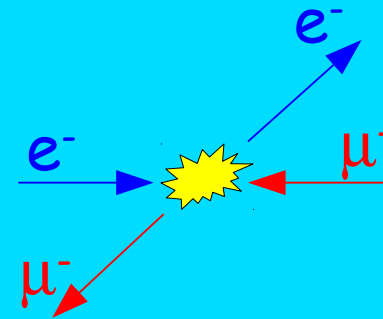


$$\vec{F} = m\vec{a}$$

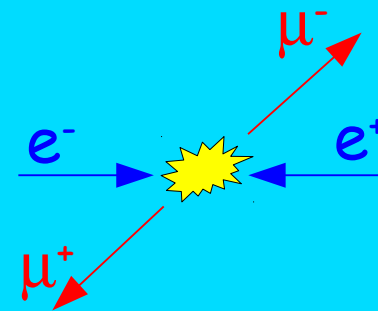
klasický

MAKRO

zmena hybnosti



vznik a zánik častíc

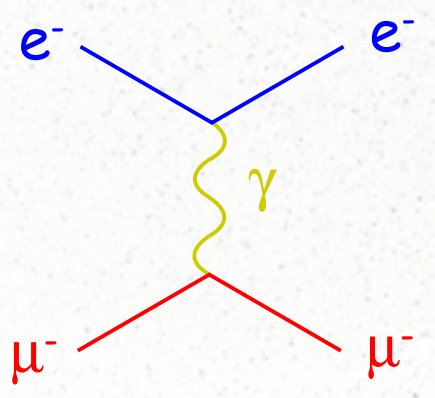
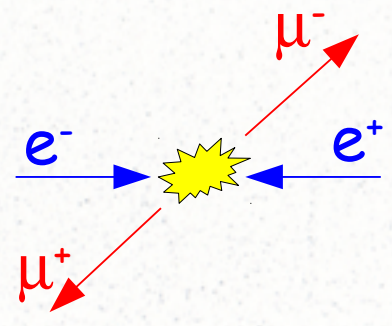
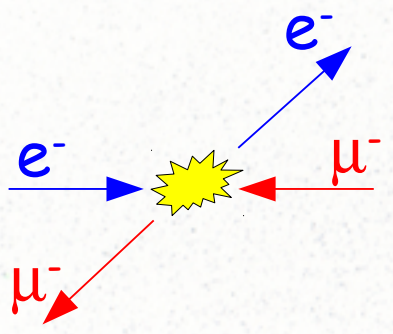


mikro

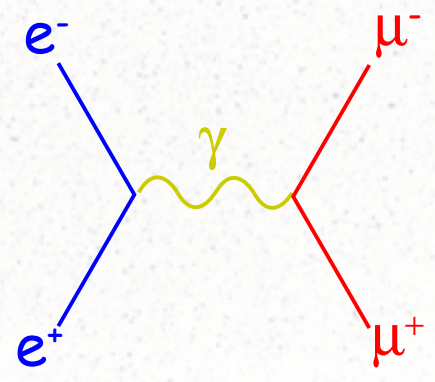
relativistický
kvantový

podivný mikrosvet ... sily

svět



$$e^- \mu^- \rightarrow e^- \mu^-$$



$$e^- e^+ \rightarrow \mu^- \mu^+$$

podivný mikrosvet ... sily

interakcia	častica	hmotnosť	spin	el. náboj
elmag.	fotón	0	1	0
slabá	W^\pm, Z	80.3, 91.2 GeV	1	$\pm 1, 0$
silná	gluóny (8)	0	1	0
gravit.	gravitón	0	2	0

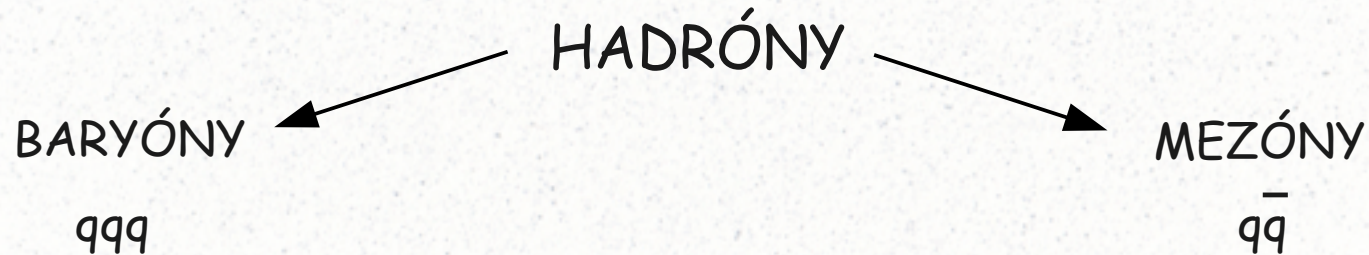
silná interakcia: viazané stavy

silná interakcia narastá so vzdialenosťou



uväznenie

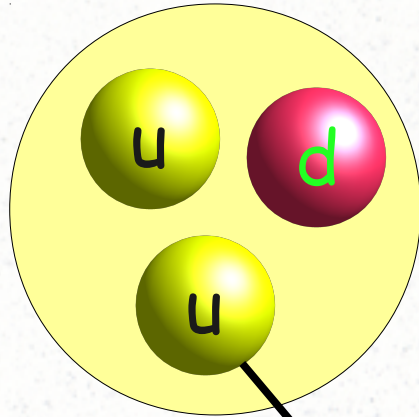
viazané stavy s nulovým silným nábojom



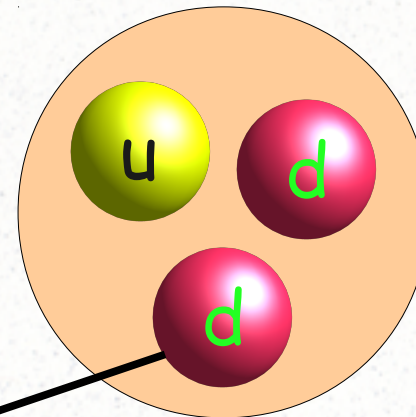
$(q\bar{q}) \rightarrow (q\bar{q}) \rightarrow (q\bar{q}) \rightarrow (q\bar{q}) \rightarrow (q\bar{q})$

slabá interakcia: β -rozpad jadier

protón



neutrón



W^+

e^+

ν_e

podivný mikrosvet ... predpoveď výsledku merania

jednoznačná

klasický

MAKRO

nejednoznačná

vieme predpovedať:

- možné výsledky
- ich pravdepodobnosť

$$e^-e^+ \rightarrow e^-e^+$$

$$\mu^-\mu^+$$

$$\gamma\gamma$$

⋮

mikro

relativistický
kvantový

podivný mikrosvet ... predpoveď výsledku merania

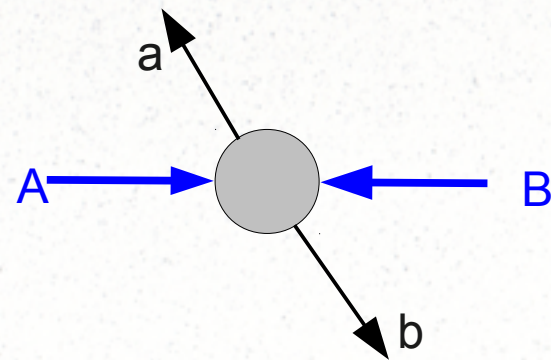
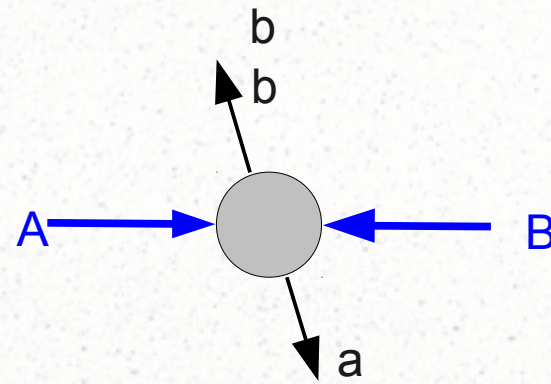
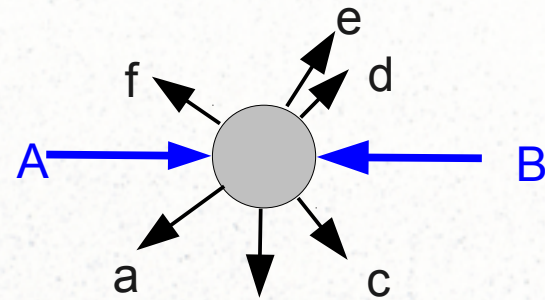
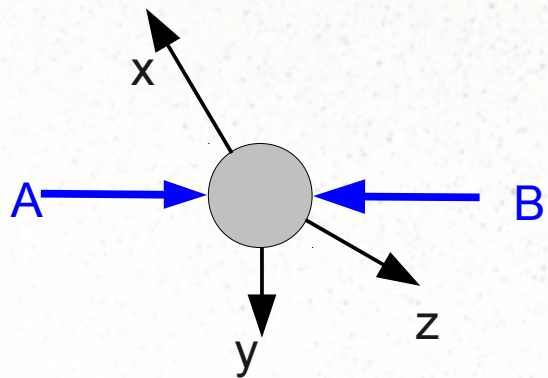
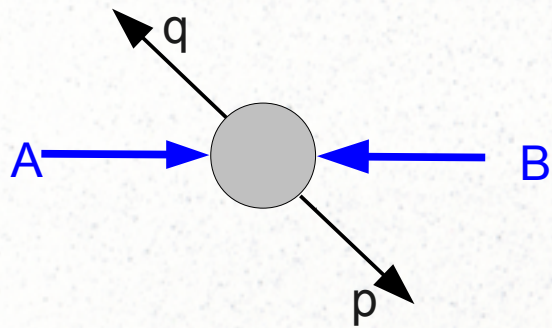
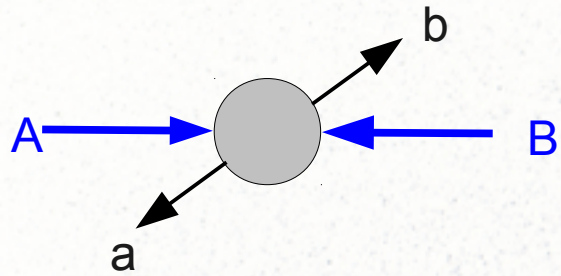
výsledky detekcie rozpadových produktov Z bozónu:

$Z \rightarrow$	e^+e^-	$\mu^+\mu^-$	$\tau^+\tau^-$	$\nu\bar{\nu}$	$q\bar{q}$
%	3.4	3.4	3.4	20.0	69.9

výsledky detekcie rozpadových produktov W bozónu:

$W^\pm \rightarrow$	$e^\pm\nu$	$\mu^\pm\nu$	$\tau^\pm\nu$	$q\bar{q}'$
%	10.8	10.8	10.8	67.6

podivný mikrosvet ... predpoveď výsledku merania



detektor = makroskopický objekt

interakcia častice s detektorom:

- elektromagnetická
 - silná → elektromagnetická
- } excitácia, ionizácia
prostredia

niektoré častice v detektore nevidíme ...

a) interagujú veľmi slabo

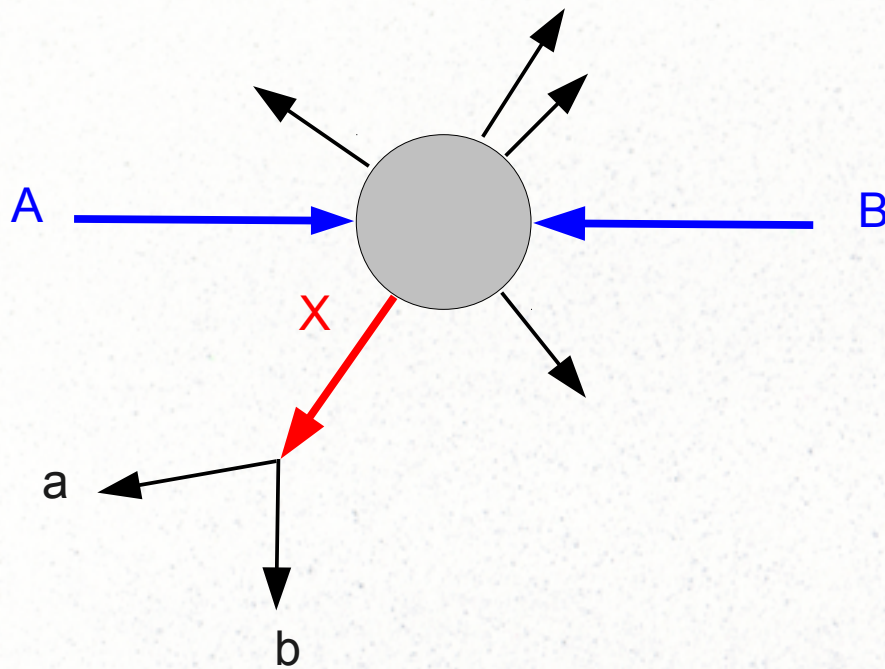
- **nemajú** ani **elektrický**, ani (skrytý) **silný** náboj
- výnimkou je **fotón**, ktorý interaguje elektromagneticky

b) žijú veľmi krátko

- rozpadnú sa skôr, než doletia do detektora

$$\text{napr. } W^{\pm}, Z: \quad \tau \approx 3 \times 10^{-25} \text{ s} \quad \Rightarrow \quad c \cdot \tau \approx 10^{-16} \text{ m}$$

ako detekovať krátkožijúcu časticu ...



$$E_{ab} = E_a + E_b$$

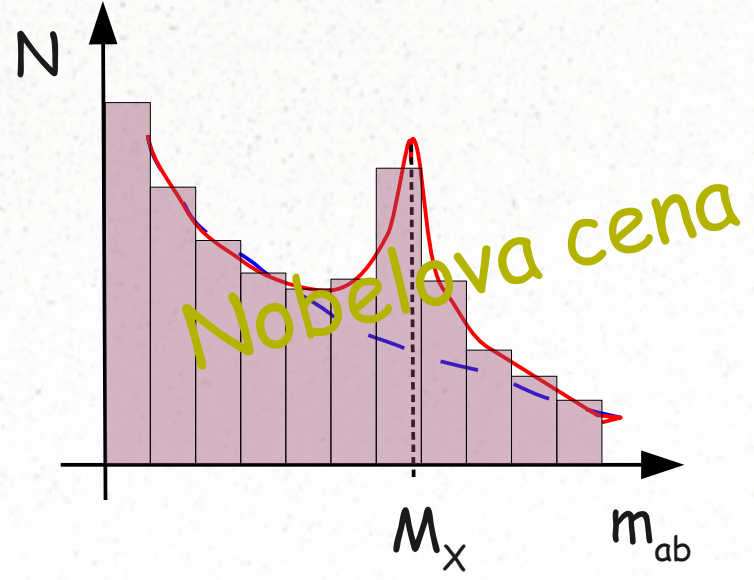
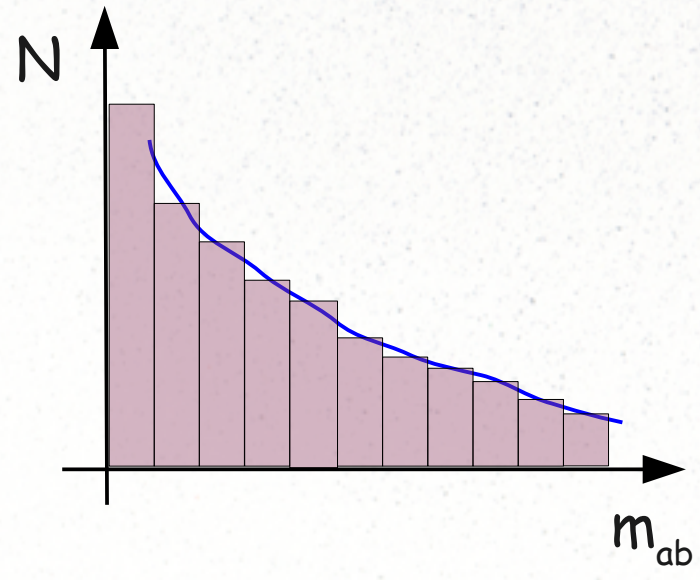
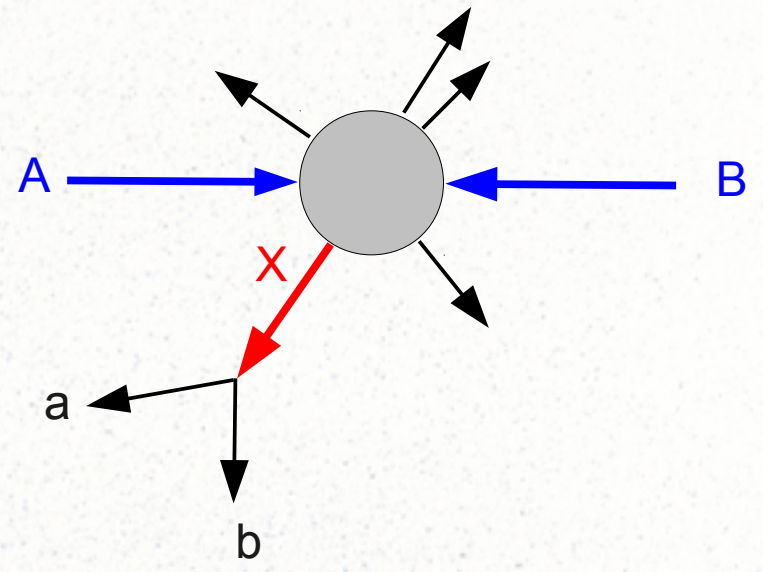
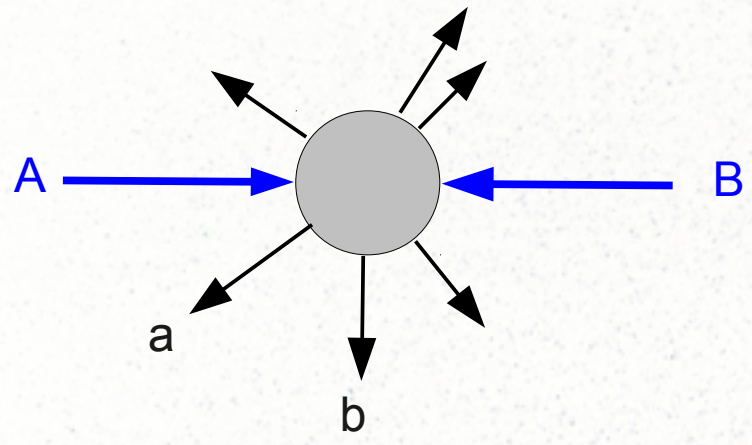
$$\vec{p}_{ab} = \vec{p}_a + \vec{p}_b$$

invariantná hmotnosť páru a+b:

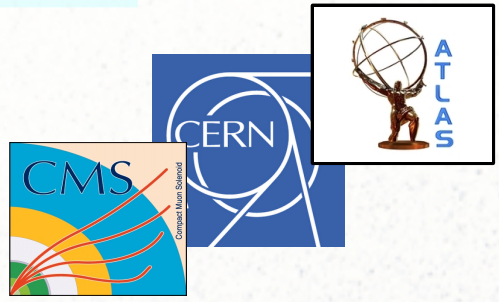
$$m_{ab} = \sqrt{E_{ab}^2 - \vec{p}_{ab}^2}$$

1. zraz častice A a B !
2. detekuj potenciálne rozpadové produkty častice X !
3. spočítaj invariantnú hmotnosť rozpadových produktov !
4. zopakuj predošlé tri kroky koľkokrát sa Ti len dá !
5. skonštruuj histogram početnosti prípadov pre rôzne m_{ab} !

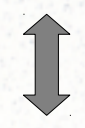
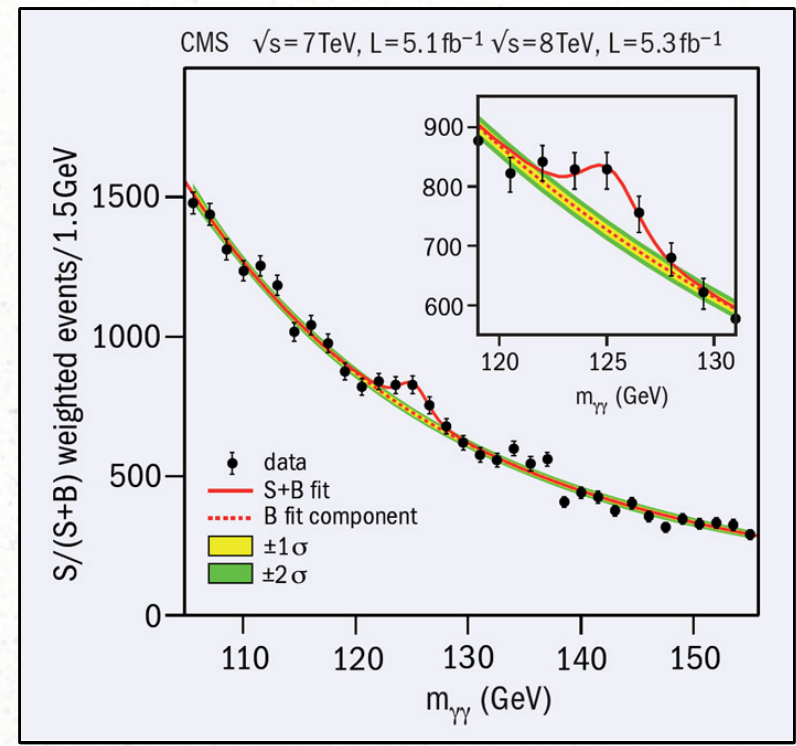
ako detekovať krátkožijúcu časticu ...



4. júl 2012



HIGGSov bozón



bozón o hmotnosti
125 GeV

