

Physics Masterclasses 2009

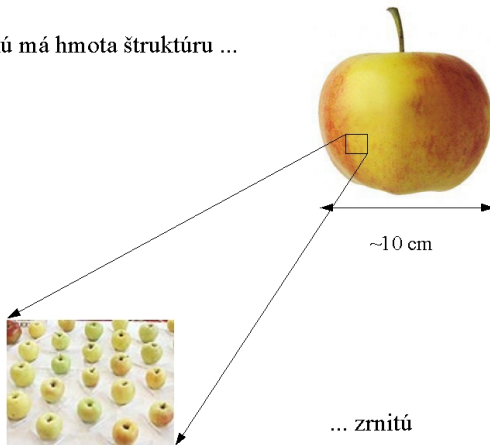
Štandardný model elementárnych častíc



Mikuláš Gintner
Katedra fyziky
Žilinská univerzita

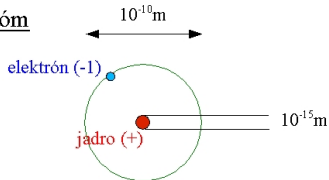
DISKRÉTNÁ ŠTRUKTÚRA HMOTY

Akú má hmota štruktúru ...

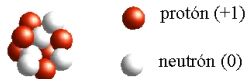


DISKRÉTNÁ ŠTRUKTÚRA HMOTY

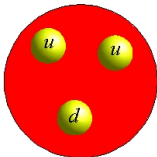
atóm



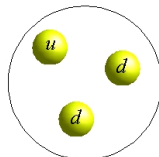
jadro



protón



neutrón



u (up)
 d (down)

Elementárne častice hmoty - sčítanie ľudu

1.generácia

ν_e
e
u
d

2.generácia

ν_μ
μ
c
s

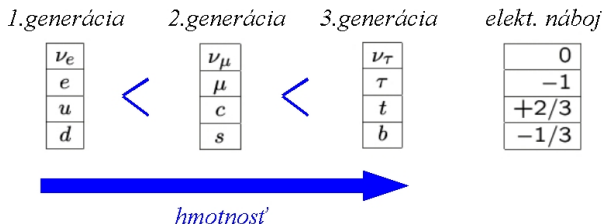
3.generácia

ν_τ
τ
t
b

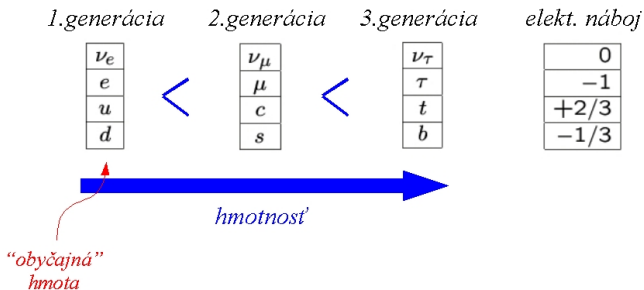
elekt. náboj

0
-1
+2/3
-1/3

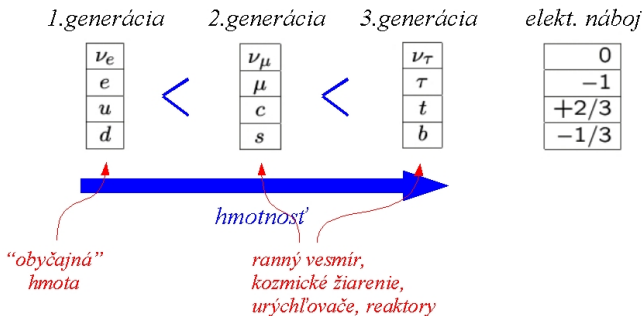
Elementárne častice hmoty - sčítanie ľudu



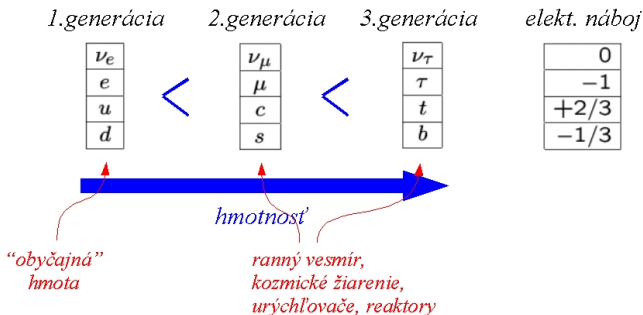
Elementárne častice hmoty - sčítanie ľudu



Elementárne častice hmoty - sčítanie ľudu



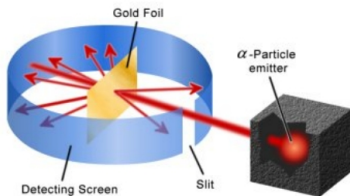
Elementárne častice hmoty - sčítanie ľudu



... + antičastice: rovnaká hmotnosť, opačný náboj

AKO SA NA TO PRIŠLO...

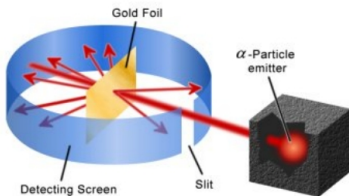
Ako sa na to prišlo...



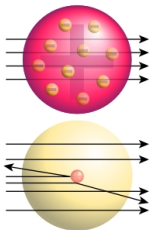
Ernest Rutherford
1911

AKO SA NA TO PRIŠLO...

Ako sa na to prišlo...

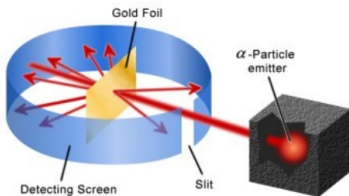


Ernest Rutherford
1911

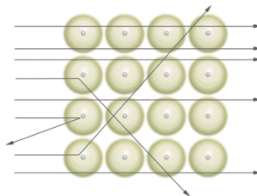
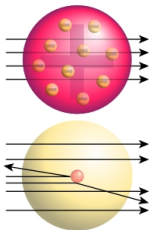


AKO SA NA TO PRIŠLO...

Ako sa na to prišlo...

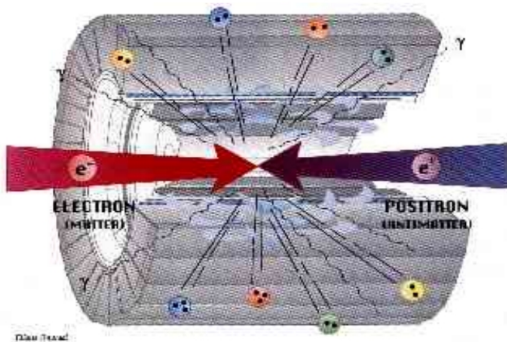


*Ernest Rutherford
1911*

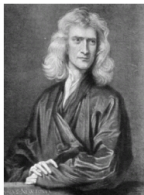


ZÁKLADNÁ EXPERIMENTÁLNA METÓDA

Moderná verzia Rutherfordovho experimentu...



AKO TO DRŽÍ POKOPE...



Sily!

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

Newtonovo jablko → gravitačná sila



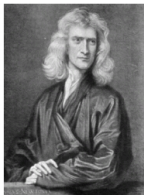
atómy v jablku
elektróny okolo jadra → elektr(omagnet)ická sila



protóny, neutróny, kvarky → silná (jadrová) sila

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ rádioaktívny rozpad → slabá sila

AKO TO DRŽÍ POKOPE...



Sily!

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

Newtonovo jablko



gravitačná sila

10^{-42}

∞



atómy v jablku
elektróny okolo jadra



elektr(omagnet)ická sila

10^{-2}

∞



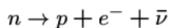
protóny, neutróny, kvarky



silná (jadrová) sila

10

10^{-15}m



rádioaktívny rozpad



slabá sila

10^{-13}

10^{-18}m

PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA

Klasický makrosvet

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

Relativistický, kvantový mikrosvet

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

PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA

Klasický makrosvet

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

- zmena hybnosti

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

Relativistický, kvantový mikrosvet

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

Sila

(interakcia)

- zmena hybnosti

- zánik a vznik častíc

PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA

Klasický makrosvet

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

- zmena hybnosti

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

Relativistický, kvantový mikrosvet

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

Sila

(interakcia)

- zmena hybnosti

- zánik a vznik častíc

hmotnosť

- zachováva sa

- nezachováva sa

$$E = mc^2$$

- $\exists$ nulová hmotnosť

PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA

Klasický makrosvet

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

- zmena hybnosti

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

Sila

(interakcia)

hmotnosť

- zachováva sa

predpoveď

- 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

- pravdepodobnostná

Čo nie je zakázané,
je povolené.

Vzťah medzi silou a pravdepodobnosťou

teória predpovedá len pravdepodobnosť danej udalosti

$Z^0 \rightarrow$	e^+e^-	$\mu^+\mu^-$	$\tau^+\tau^-$	$\nu\bar{\nu}$	$q\bar{q}$
podiel	0.03	0.03	0.03	0.20	0.70

Vzťah medzi silou a pravdepodobnosťou

teória predpovedá len pravdepodobnosť danej udalosti

$Z^0 \rightarrow$	e^+e^-	$\mu^+\mu^-$	$\tau^+\tau^-$	$\nu\bar{\nu}$	$q\bar{q}$
podiel	0.03	0.03	0.03	0.20	0.70

$$e^+e^- \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \mu^+\mu^- \\ q\bar{q} \\ W^+W^- \\ \vdots \end{array} \right.$$

Vzťah medzi silou a pravdepodobnosťou

teória predpovedá len pravdepodobnosť danej udalosti

$Z^0 \rightarrow$	e^+e^-	$\mu^+\mu^-$	$\tau^+\tau^-$	$\nu\bar{\nu}$	$q\bar{q}$
podiel	0.03	0.03	0.03	0.20	0.70

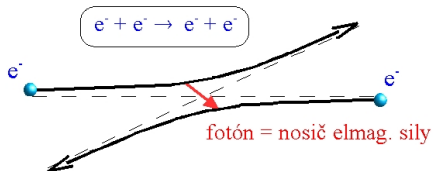
$$e^+e^- \rightarrow \left\{ \begin{array}{c} \mu^+\mu^- \\ q\bar{q} \\ W^+W^- \\ \vdots \end{array} \right.$$

pravdepodobnosť závisí na:

- interakčná konštanta
- hmotnosti častíc
- energia zrážky

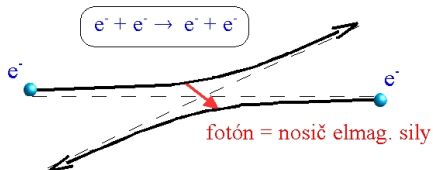
Nosiče síl: fotón

fotón
($m = 0$, $q = 0$)



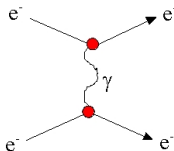
Nosiče sil: **fotón**

fotón
($m = 0, q = 0$)

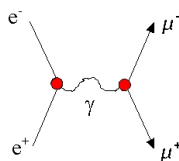


R.P. Feynman

Zmena hybnosti:



Zánik/vznik častíc:

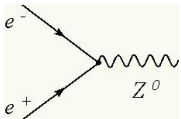
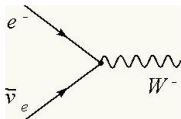


SLABÉ SILÓNY, SILNÉ SILÓNY

Nosiče slabých interakcí

částice	el.náboj	hmotnost'
Z	0	91.2 GeV
W^+	+1	80.3 GeV
W^-	-1	80.3 GeV

- všechny částice
v každé generácii
majú slabý náboj

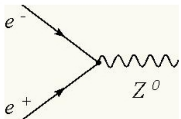
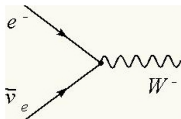


SLABÉ SILÓNY, SILNÉ SILÓNY

Nosiče slabých interakcí

částice	el.náboj	hmotnost'
Z	0	91.2 GeV
W^+	+1	80.3 GeV
W^-	-1	80.3 GeV

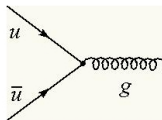
- všechny částice
v každé generácii
majú slabý náboj



Nosiče silných interakcií

8 gluónov
($m = 0, q = 0$)

- silný náboj majú len
kvarky a gluóny



Uväznenie kvarkov a gluónov

v prírode nepozorujeme voľné kvarky a gluóny
prečo?

silná sila narastá so vzdialenosťou



Nobelova cena
za fyziku 2004



D.J.Gross H.D.Politzer F.Wilczek

*Za objav asymptotickej slobody
v teórii silných interakcií*

Uväznenie kvarkov a gluónov

v prírode nepozorujeme voľné kvarky a gluóny
prečo?

silná sila narastá so vzdialenosťou

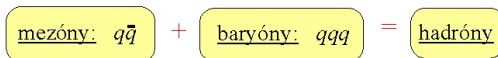


Nobelova cena
za fyziku 2004



D.J. Gross H.D. Politzer F. Wilczek

*Za objav asymptotickej slobody
v teórii silných interakcií*



Uväznenie kvarkov a gluónov

v prírode nepozorujeme voľné kvarky a gluóny
prečo?

silná sila narastá so vzdialenosťou

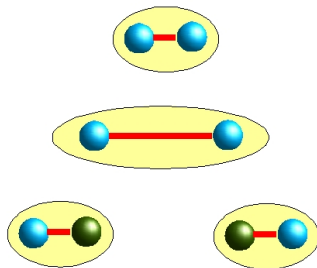


Nobelova cena
za fyziku 2004

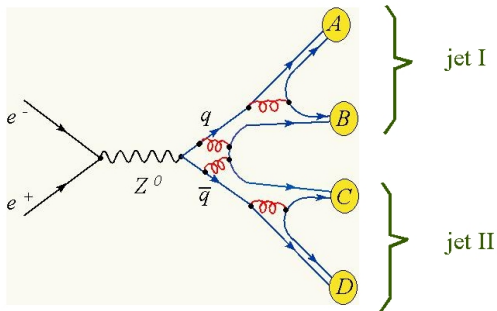


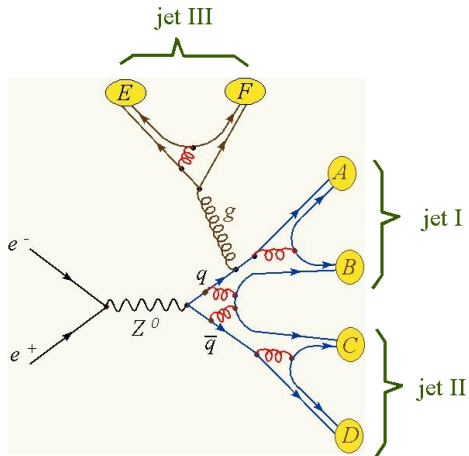
D.J. Gross H.D. Politzer F. Wilczek

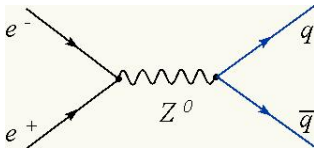
*Za objav asymptotickej slobody
v teórii silných interakcií*



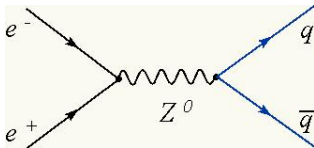
2 JETY



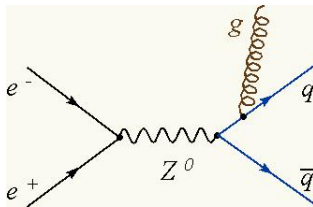




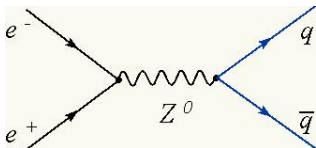
$$N_{2j} = P_{2j} N_{e^+e^-}$$



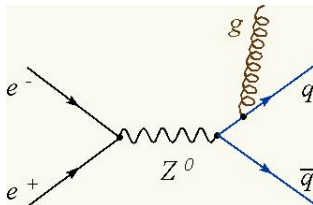
$$N_{2j} = P_{2j} N_{e^+e^-}$$



$$N_{3j} = P_{3j} N_{e^+e^-}$$



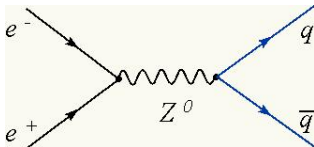
$$N_{2j} = P_{2j} N_{e^+e^-}$$



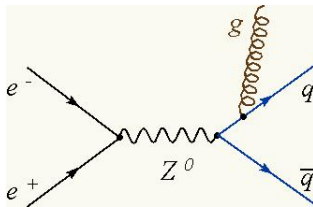
$$N_{3j} = P_{3j} N_{e^+e^-}$$

$$P_{3j} = \alpha_s P_{2j} \quad \Rightarrow \quad N_{3j} = \alpha_s N_{2j}$$

VÝPOČET α_s



$$N_{2j} = P_{2j} N_{e^+e^-}$$



$$N_{3j} = P_{3j} N_{e^+e^-}$$

$$P_{3j} = \alpha_s P_{2j} \quad \Rightarrow \quad N_{3j} = \alpha_s N_{2j}$$

$$\alpha_s = k \frac{N_{3j}}{N_{2j}}$$

??

Otvorené otázky

ODKIAL' SA BERIE HMOTNOST'?

- hmotnosť makroskopických telies = energia interakcií

ODKIAL' SA BERIE HMOTNOST'?

- hmotnosť makroskopických telies = energia interakcií
- hmotnosť elem. častíc = ???

ODKIAL' SA BERIE HMOTNOST'?

- hmotnosť makroskopických telies = energia interakcií
- hmotnosť elem. častíc = ???
- predpoveď ŠM:

nové skalárne pole

⇒ nová častica: **HIGGSOV BOZÓN**

ODKIAL' SA BERIE HMOTNOST'?

- hmotnosť makroskopických telies = energia interakcií
- hmotnosť elem. častíc = ???
- predpoveď ŠM:

nové skalárne pole

⇒ nová častica: HIGGSOV BOZÓN

- $\exists$ alternatívne hypotézy

ODKIAL' SA BERIE HMOTNOST'?

- hmotnosť makroskopických telies = energia interakcií
- hmotnosť elem. častíc = ???
- predpoveď ŠM:

nové skalárne pole

⇒ nová častica: **HIGGSOV BOZÓN**

- $\exists$ alternatívne hypotézy
- **LHC**

ČO JE TMAVÁ HMOTA? ... TMAVÁ ENERGIA ?

- Big Bang → rozpínanie vesmíru

ČO JE TMAVÁ HMOTA? ... TMAVÁ ENERGIA ?

- Big Bang $\rightarrow$ rozpínanie vesmíru
- baryónová hmota = 4% (svietiaci = 0.5%)

ČO JE TMAVÁ HMOTA? ... TMAVÁ ENERGIA ?

- Big Bang $\rightarrow$ rozpínanie vesmíru
- baryónová hmota = 4% (svietiaci = 0.5%)
- **nebaryónová tmavá hmota = 26%**

ČO JE TMAVÁ HMOTA? ... TMAVÁ ENERGIA ?

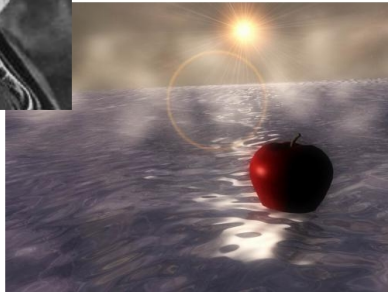
- Big Bang $\rightarrow$ rozpínanie vesmíru
- baryónová hmota = 4% (svietiaci = 0.5%)
- nebaryónová tmavá hmota = 26%
- tmavá energia = 70% $\Leftarrow$ rozpínanie vesmíru sa zrýchľuje

ČO JE TMAVÁ HMOTA? ... TMAVÁ ENERGIA ?

- Big Bang $\rightarrow$ rozpínanie vesmíru
- baryónová hmota = 4% (svietiaci = 0.5%)
- nebaryónová tmavá hmota = 26%
- tmavá energia = 70% $\Leftarrow$ rozpínanie vesmíru sa zrýchľuje
- LHC



gravitačná sila = zakrivenie časopriestoru



- nemáme teóriu gravitačnej sily v mikrosvete !

- prečo práve tri generácie?

A OVEĽA VIAC...

- prečo práve tri generácie?
- koľko rozmerov má náš vesmír?

- prečo práve tri generácie?
- koľko rozmerov má náš vesmír?
- sú elementárne častice elementárne?

- prečo práve tri generácie?
- koľko rozmerov má náš vesmír?
- sú elementárne častice elementárne?
- dajú sa všetky sily zjednotiť?

- prečo práve tri generácie?
- koľko rozmerov má náš vesmír?
- sú elementárne častice elementárne?
- dajú sa všetky sily zjednotiť?
- z čoho vyplývajú hodnoty základných konštánt?

- prečo práve tri generácie?
- koľko rozmerov má náš vesmír?
- sú elementárne častice elementárne?
- dajú sa všetky sily zjednotiť?
- z čoho vyplývajú hodnoty základných konštánt?
- čo bolo pred Big Bangom?

A OVEL'A VIAC...

- prečo práve tri generácie?
- koľko rozmerov má náš vesmír?
- sú elementárne častice elementárne?
- dajú sa všetky sily zjednotiť?
- z čoho vyplývajú hodnoty základných konštánt?
- čo bolo pred Big Bangom?
- je náš vesmír jediný?

- prečo práve tri generácie?
- koľko rozmerov má náš vesmír?
- sú elementárne častice elementárne?
- dajú sa všetky sily zjednotiť?
- z čoho vyplývajú hodnoty základných konštánt?
- čo bolo pred Big Bangom?
- je náš vesmír jediný?
- atď'.

VLASTNOSTI ELEMENTÁRNYCH ČASTÍC

Rekapitulácia

interakcia	častica	el.náboj	hmotnosť
silná	8 gluónov	0	0
el.mag.	fotón	0	0
slabá	W^+	+1	80.3 GeV
	W^-	-1	80.3 GeV
	Z	0	91.2 GeV
gravitačná	gravitón	0	0

I	II	III	el.náboj
$\nu_e(?)$	$\nu_\mu(?)$	$\nu_\tau(?)$	0
$e^-(0.0005)$	$\mu^-(0.105)$	$\tau^-(1.777)$	-1
$u(0.003)$	$c(1.2)$	$t(174)$	+2/3
$d(0.006)$	$s(0.1)$	$b(4.2)$	-1/3