

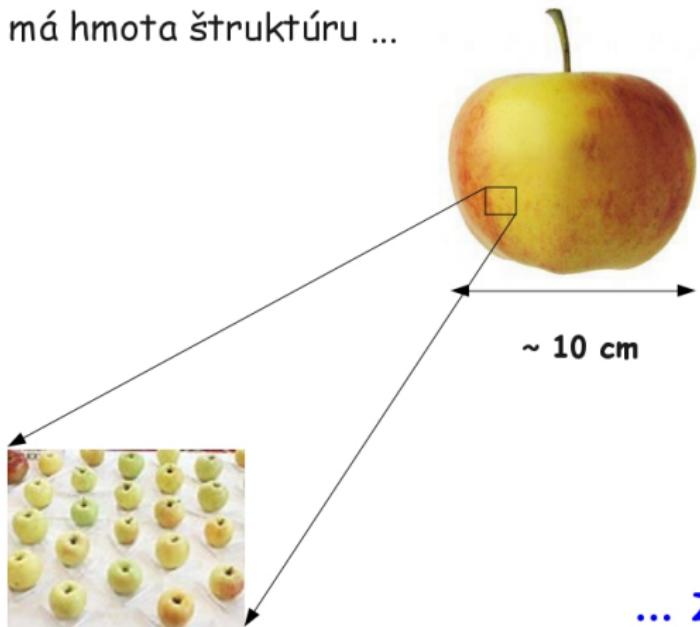
Čo (ne)vieme o mikrosvete



Mikuláš Gintner
Katedra fyziky
Žilinská univerzita
2010

DISKRÉTNA ŠTRUKTÚRA HMOTY

Akú má hmota štruktúru ...



AKO TO DRŽÍ POKOPE...



... → **Sily!**

Newtonovo jablko → **gravitačná sila**



atóm + atóm
elektróny + jadro → **elmag sila**



protón + neutrón
kvark + kvark → **silná sila
jadrová**

● → ● + $e^- + \bar{\nu}$ rádioaktívny rozpad → **slabá sila**

Makrosvet:

$$L > 10^{-3} \text{ m}$$

$$v \ll c$$

Mikrosvet:

$$L < 10^{-10} \text{ m}$$

$$v \rightarrow c$$

Makrosvet:

$$L > 10^{-3} \text{ m}$$

$$v \ll c$$

- klasický

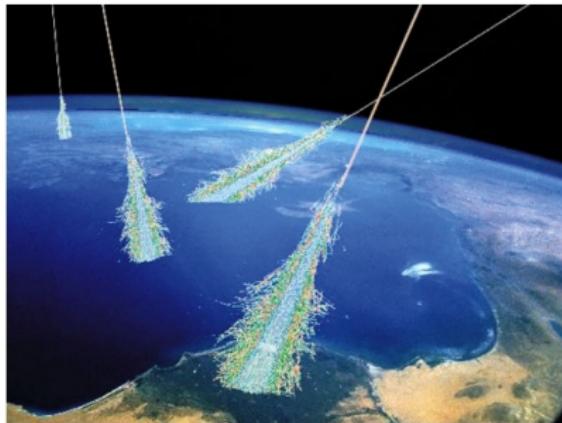
Mikrosvet:

$$L < 10^{-10} \text{ m}$$

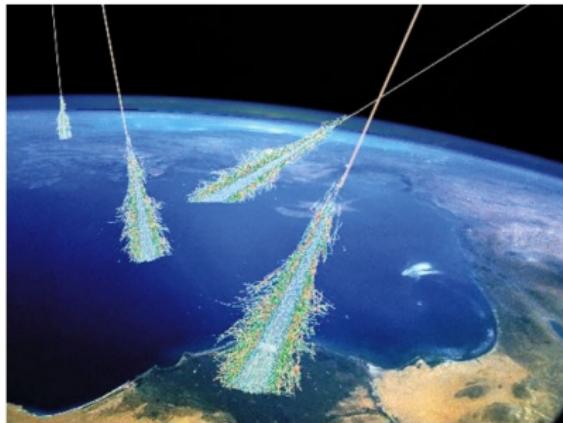
$$v \rightarrow c$$

- kvantový
- relativistický

PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA: EXPERIMENT



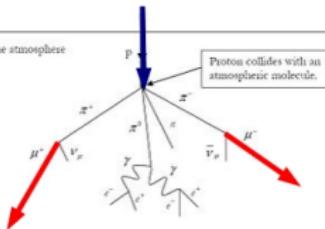
PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA: EXPERIMENT



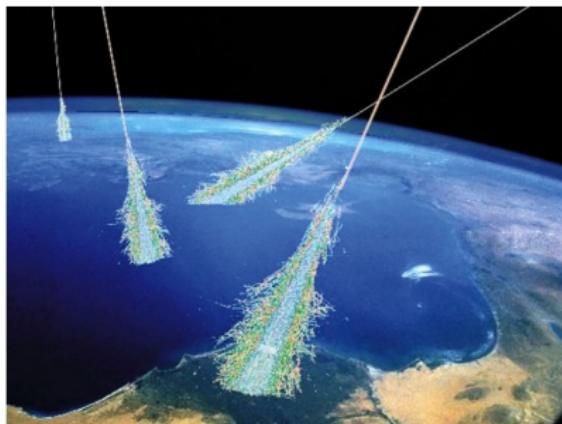
$h = 15 \text{ km}$

Top of the atmosphere

Proton collides with an atmospheric molecule.



PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA: EXPERIMENT



$h = 15 \text{ km}$

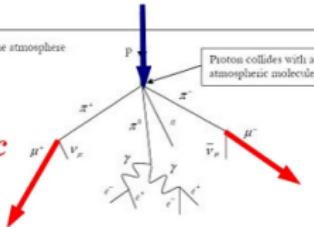
$t = 2,2 \mu\text{s}$

$v = 0,998 c$

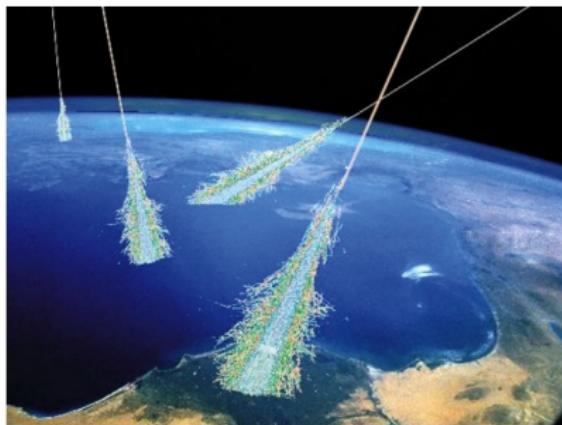
Top of the atmosphere

p

Proton collides with an atmospheric molecule.



PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA: EXPERIMENT



$$h = 15 \text{ km}$$

$$t = 2,2 \mu\text{s}$$

$$v = 0,998 c$$

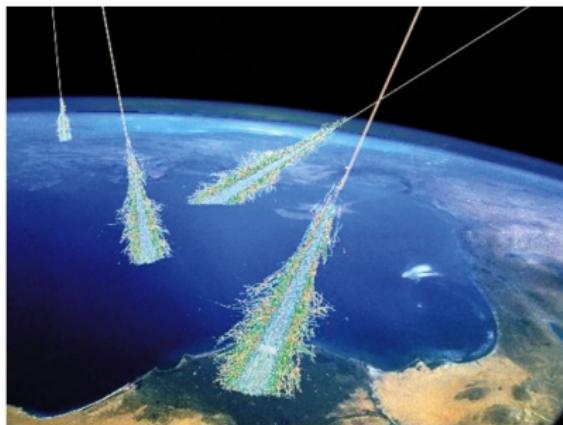
Top of the atmosphere

p

Proton collides with an atmospheric molecule.

$$L_{klas} = v t \approx 660 \text{ m}$$

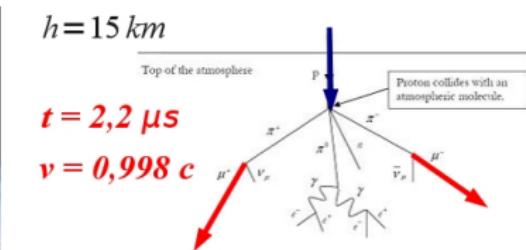
PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA: EXPERIMENT



$h = 15 \text{ km}$

$t = 2,2 \mu\text{s}$

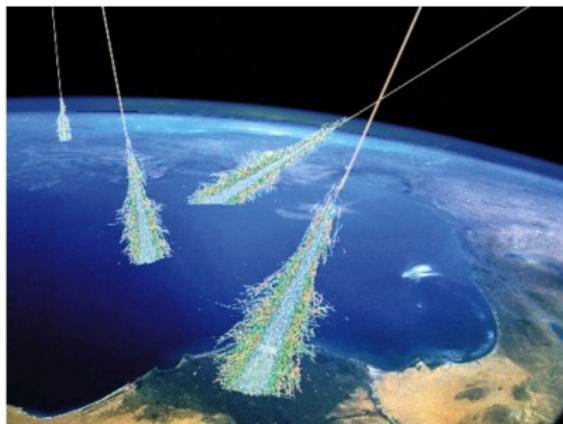
$v = 0,998 c$



$$L_{klas} = v t \approx 660 \text{ m}$$

$$L_{rel} = \frac{v t}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \approx 14,7 \text{ km}$$

PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA: EXPERIMENT

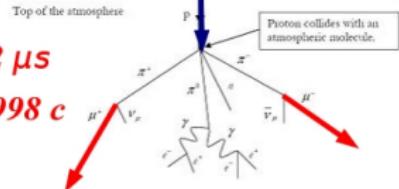


$$h = 15 \text{ km}$$

$$t = 2,2 \mu\text{s}$$

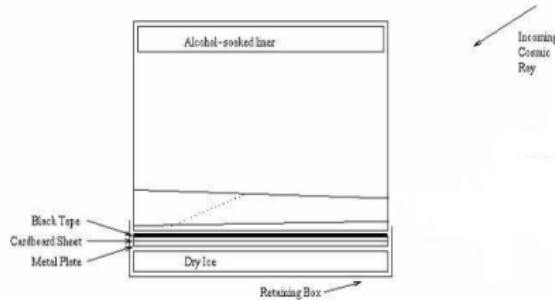
$$v = 0,998 c$$

Top of the atmosphere

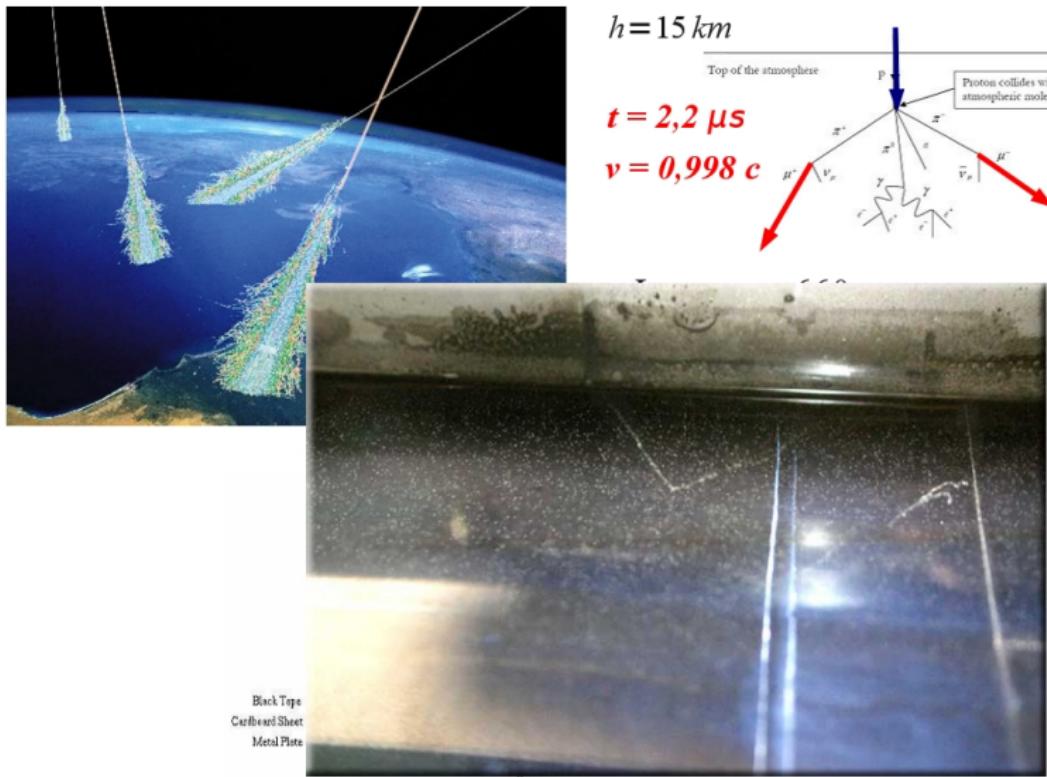


$$L_{klas} = v t \approx 660 \text{ m}$$

$$L_{rel} = \frac{v t}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \approx 14,7 \text{ km}$$



PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA: EXPERIMENT



Makrosvet:

- zmena hybnosti

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

sila

(interakcia)

Mikrosvet:

- zmena hybnosti

- zánik a vznik častíc

Makrosvet:

- zmena hybnosti

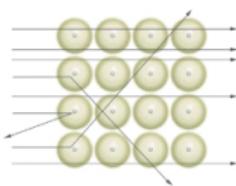
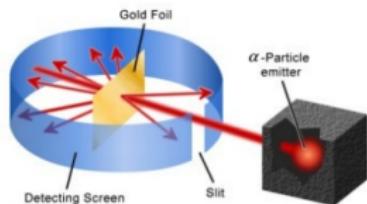
$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

sila

(interakcia)

Mikrosvet:

- zmena hybnosti
- zánik a vznik častíc



Makrosvet:

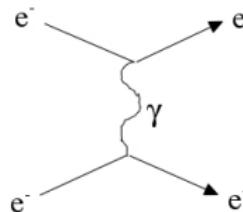
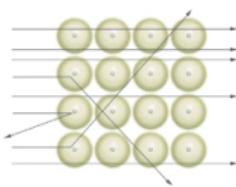
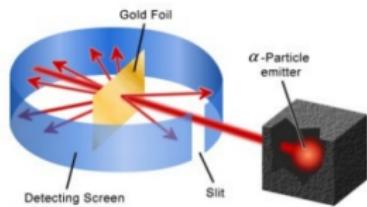
- zmena hybnosti

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

sila
(interakcia)

Mikrosvet:

- zmena hybnosti
- zánik a vznik častíc



Makrosvet:

- zmena hybnosti

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

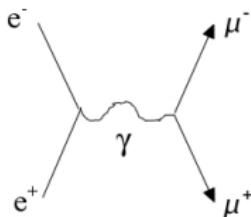
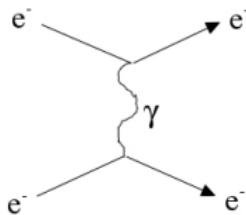
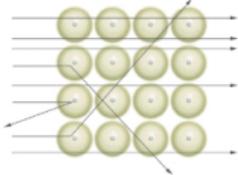
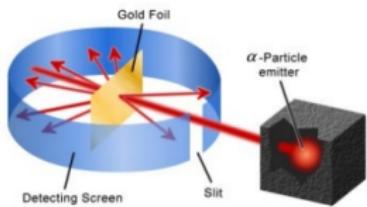
sila

(interakcia)

Mikrosvet:

- zmena hybnosti

- zánik a vznik častíc



- gravitačná sila
- elmag sila
- silná sila
- slabá sila

- gravitačná sila
- elmag sila → fotón
- silná sila
- slabá sila

- gravitačná sila

- elmag sila

→ fotón

- silná sila

→ gluóny

- slabá sila

- gravitačná sila

- elmag sila

→ fotón

- silná sila

→ gluóny

- slabá sila

→ W^+, W^-, Z

- gravitačná sila → gravitón ???
- elmag sila → fotón
- silná sila → gluóny
- slabá sila → W^+, W^-, Z

• gravitačná sila → gravitón ???

• elmag sila → fotón

• silná sila → gluóny

• slabá sila → W^+, W^-, Z

$$m_W \approx 80 \text{ GeV}$$

$$m_Z \approx 90 \text{ GeV}$$

Makrosvet:

- zachováva sa

hmotnosť

Mikrosvet:

- nezachováva sa
- \exists nulová hmotnosť

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

Makrosvet:

hmotnosť

- zachováva sa

Mikrosvet:

- nezachováva sa
- \exists nulová hmotnosť

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

ZZ energie a hybnosti

-
-

PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA: HMOTNOSŤ

Makrosvet:

hmotnosť

- zachováva sa

Mikrosvet:

- nezachováva sa
- \exists nulová hmotnosť

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

ZZ energie a hybnosti

- t'azšiu časticu investovaním kinetickej energie
-



0.5 MeV

105 MeV

Makrosvet:

- zachováva sa

hmotnosť

Mikrosvet:

- nezachováva sa
- \exists nulová hmotnosť

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

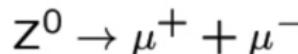
ZZ energie a hybnosti

- tazšiu časticu investovaním kinetickej energie
- hmotnosť pred rozpadom $\geq \sum$ hmotností po rozpade

91 GeV



0,5 MeV



0,105 GeV

105 MeV

PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA: HMOTNOSŤ

Makrosvet:

- zachováva sa

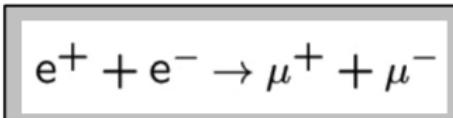
hmotnosť

Mikrosvet:

- nezachováva sa
- \exists nulová hmotnosť
 $E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$

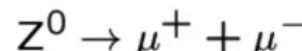
ZZ energie a hybnosti

- tazšiu časticu investovaním kinetickej energie
- hmotnosť pred rozpadom $\geq \sum$ hmotností po rozpade

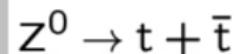


0.5 MeV

91 GeV



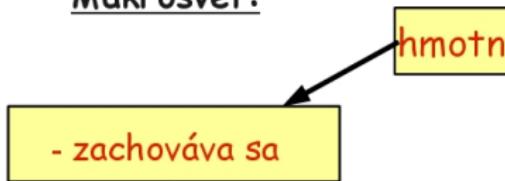
0,105 GeV



171 GeV

PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA: HMOTNOSŤ

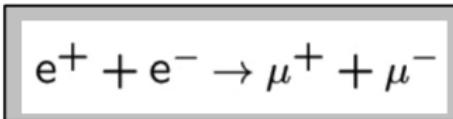
Makrosvet:



Mikrosvet:

ZZ energie a hybnosti

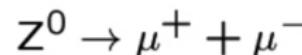
- ľažšiu časticu investovaním kinetickej energie
- hmotnosť pred rozpadom $\geq \sum$ hmotnosti po rozpade



0.5 MeV

105 MeV

91 GeV



0,105 GeV



171 GeV

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 = ???
- hypotetická častica:

HIGGSOV BOZÓN

ODKIAL' SA BERIE HMOTNOST'?

- hmotnosť makroskopických telies = energia interakcií
- hmotnosť elem. častíc = ???
- hypotetická častica:
HIGGSOV BOZÓN
- LHC = Large Hadron Collider

Makrosvet:

- jednoznačný

predpoved'

Mikrosvet:

- pravdepodobnostný

Makrosvet:

- jednoznačný

predpoved'

Mikrosvet:

- pravdepodobnosť

Kvantová teória predpovedá len
pravdepodobnosť výsledku merania.

PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA: VESMÍRNA RULETA?

Makrosvet:

- jednoznačný

predpoved'

Mikrosvet:

- pravdepodobnosť

Kvantová teória predpovedá len
pravdepodobnosť výsledku merania.

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

PODIVNÉ ZÁKONY MIKROSVETA: VESMÍRNA RULETA?

Makrosvet:

- jednoznačný

predpoved'

Mikrosvet:

- pravdepodobnosť

Kvantová teória predpovedá len
pravdepodobnosť výsledku merania.

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





Kvantová teória predpovedá len pravdepodobnosť výsledku merania.

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

Čo nie je zakázané, je povolené.

ČASTICOVÁ ZOO

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

ČASTICOVÁ ZOO

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

“obyčajná”
hmota

raný vesmír,
kozmické žiarenie,
urýchľovače, reaktory

ČASTICOVÁ ZOO

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



“obyčajná” hmota

hmotnosť

raný vesmír,
kozmické žiarenie,
urýchľovače, reaktory

ČASTICOVÁ ZOO

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



“obyčajná”
hmota

hmotnosť

raný vesmír,
kozmické žiarenie,
urýchľovače, reaktory

... + antičastice: rovnaká hmotnosť, opačný náboj

HADRÓNOVÉ VÄZENIE

v prírode nepozorujeme volné kvarky a gluóny

mezóny $q\bar{q}$

hadróny

baryóny qqq

HADRÓNOVÉ VÄZENIE

v prírode nepozorujeme volné kvarky a gluóny

mezóny $q\bar{q}$

hadróny

baryóny qqq

PREČO?

HADRÓNOVÉ VÄZENIE

v prírode nepozorujeme volné kvarky a gluóny

mezóny $q\bar{q}$

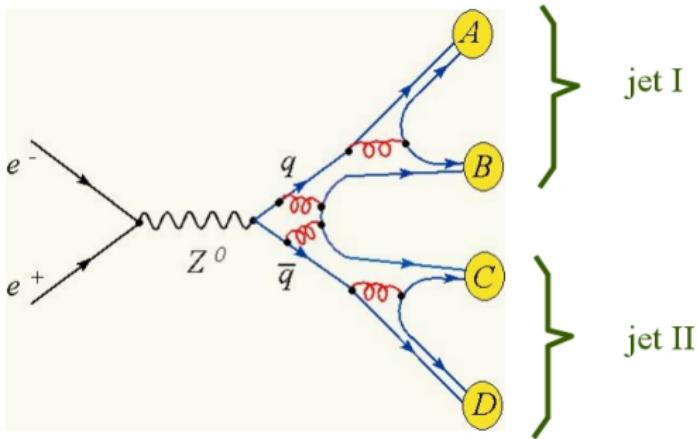
hadróny

baryóny qqq

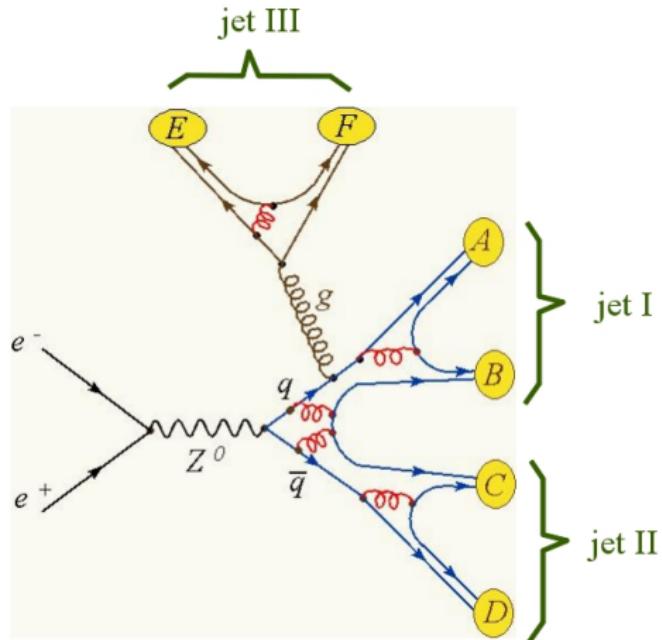
PREČO?

- silná sila vytvára viazané stavy
- silná sila narastá so vzdialenosťou

AKO VZNIKAJÚ HADRÓNOVÉ SPRŠKY



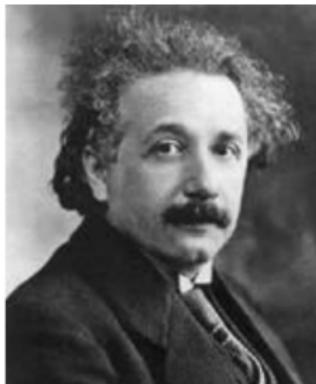
AKO VZNIKAJÚ HADRÓNOVÉ SPRŠKY



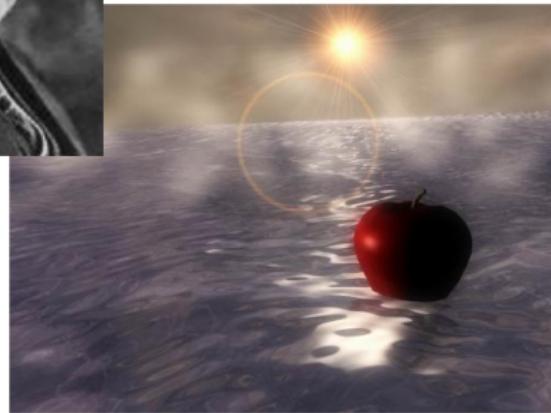
??

Otvorené otázky

GRAVITÁCIA



gravitačná sila = zakrivenie časopriestoru



- nemáme teóriu gravitačnej sily v mikrosvete !

ČO JE TMAVÁ HMOTA? ... TMAVÁ ENERGIA ?

- Big Bang → rozpínanie vesmíru

ČO JE TMAVÁ HMOTA? ... TMAVÁ ENERGIA ?

- Big Bang → rozpínanie vesmíru
- baryónová hmota = 4% (svietiaca = 0.5%)

ČO JE TMAVÁ HMOTA? ... TMAVÁ ENERGIA ?

- Big Bang → rozpínanie vesmíru
- baryónová hmota = 4% (svietiaca = 0.5%)
- nebaryónová tmavá hmota = 26%

ČO JE TMAVÁ HMOTA? ... TMAVÁ ENERGIA ?

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

ČO JE TMAVÁ HMOTA? ... TMAVÁ ENERGIA ?

- Big Bang → rozpínanie vesmíru
- baryónová hmota = 4% (svietiaca = 0.5%)
- nebaryónová tmavá hmota = 26%
- tmavá energia = 70% ⇐ rozpínanie vesmíru sa zrýchľuje
- LHC

A OVEL'A VIAC...

- prečo práve tri generácie?

A OVEL'A VIAC...

- prečo práve tri generácie?
- kol'ko rozmerov má náš vesmír? je priestor spojity? existuje najmenší rozmer?

A OVEL'A VIAC...

- prečo práve tri generácie?
- kol'ko rozmerov má náš vesmír? je priestor spojity? existuje najmenší rozmer?
- sú elementárne častice elementárne?

A OVEL'A VIAC...

- prečo práve tri generácie?
- kol'ko rozmerov má náš vesmír? je priestor spojity? existuje najmenší rozmer?
- sú elementárne častice elementárne?
- dajú sa všetky sily zjednotiť?

A OVEL'A VIAC...

- prečo práve tri generácie?
- kol'ko rozmerov má náš vesmír? je priestor spojity? existuje najmenší rozmer?
- sú elementárne častice elementárne?
- dajú sa všetky sily zjednotiť?
- z čoho vyplývajú hodnoty základných konštánt?

- prečo práve tri generácie?
- kol'ko rozmerov má náš vesmír? je priestor spojity? existuje najmenší rozmer?
- sú elementárne častice elementárne?
- dajú sa všetky sily zjednotiť?
- z čoho vyplývajú hodnoty základných konštánt?
- čo bolo pred Big Bangom?

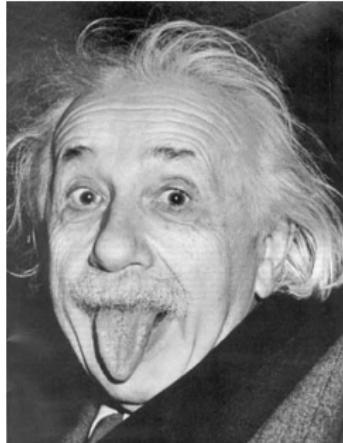
A OVEL'A VIAC...

- prečo práve tri generácie?
- kol'ko rozmerov má náš vesmír? je priestor spojity? existuje najmenší rozmer?
- sú elementárne častice elementárne?
- dajú sa všetky sily zjednotiť?
- z čoho vyplývajú hodnoty základných konštánt?
- čo bolo pred Big Bangom?
- je náš vesmír jediný?

A OVEL'A VIAC...

- prečo práve tri generácie?
- kol'ko rozmerov má náš vesmír? je priestor spojity? existuje najmenší rozmer?
- sú elementárne častice elementárne?
- dajú sa všetky sily zjednotiť?
- z čoho vyplývajú hodnoty základných konštánt?
- čo bolo pred Big Bangom?
- je náš vesmír jediný?
- čo je čas? prečo plynne jedným smerom?

NA ZÁVER...



Rekapitulácia

interakcia	častica	el.náboj	hmotnosť'
silná	8 gluónov	0	0
elmag.	fotón	0	0
slabá	W^+ W^- Z	+1 -1 0	80.3 GeV 80.3 GeV 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