

Môže sa priestor z niečoho skladať?

Juraj Tekel, KTF FMFI UK
5.3.2020, SPACE::TALK, Košice

História fiziky

1687

1905

prehistória

1687

klasická fyzika

1905

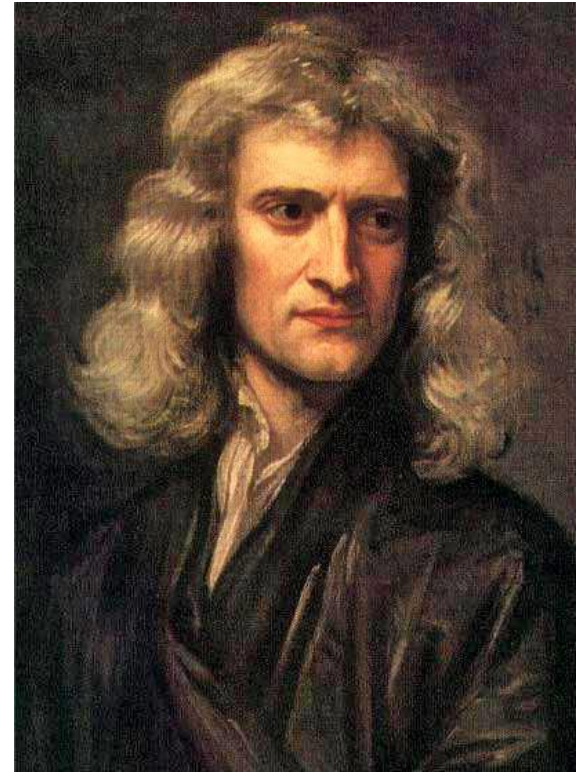
moderná fyzika

Klasická fyzika

1687 Isaac Newton

*Philosophiæ Naturalis
Principia Mathematica*

zjednotenie nebeskej a
pozemskej mechaniky.



1642 – 1727

1865 James Clerk Maxwell

*A Dynamical Theory of
the Electromagnetic Field*

zjednotenie optiky a
elektromagnetizmu.



1831 – 1879

Relativita

1905 Albert Einstein

*Zur Elektrodynamik
bewegter Körper*

zjednotenie (časti)
mechaniky a elektro-
magnetizmu.



1879 – 1955

obr.: wiki

1915 Albert Einstein

*Die Feldgleichungen der
Gravitation*

zjednotenie mechaniky
a elektromagnetizmu.



1879 – 1955

Kvantová mechanika

1900 – 1930 veľa rôznych vedcov

Na malých vzdialenostiach Newtonova mechanika prestáva platiť.

Nové pravidlá - kvantová mechanika.

Spojenie kvantovej mechaniky a relativity do jednej teórie je ťažké.

Vieme ako spraviť kvantovú špeciálnu relativitu.

Nevieme ako spraviť kvantovú všeobecnú relativitu.

Spojenie kvantovej mechaniky a relativity do jednej teórie je ťažké.

Vieme ako spraviť kvantovú špeciálnu relativitu.

Nevieme ako spraviť kvantovú všeobecnú relativitu.

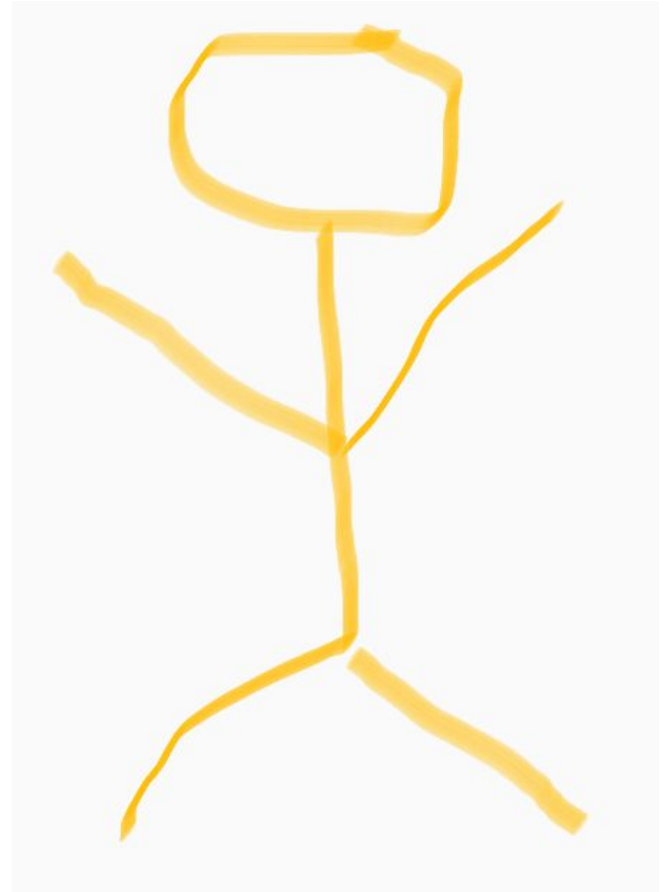
**Spojenie kvantovej
mechaniky a teórie
gravitácie predpovedá
štruktúru priestoru.**

Môže sa priestor z
niečoho **skladať**?

**Čo to znamená
skladat' sa z
niečoho?**

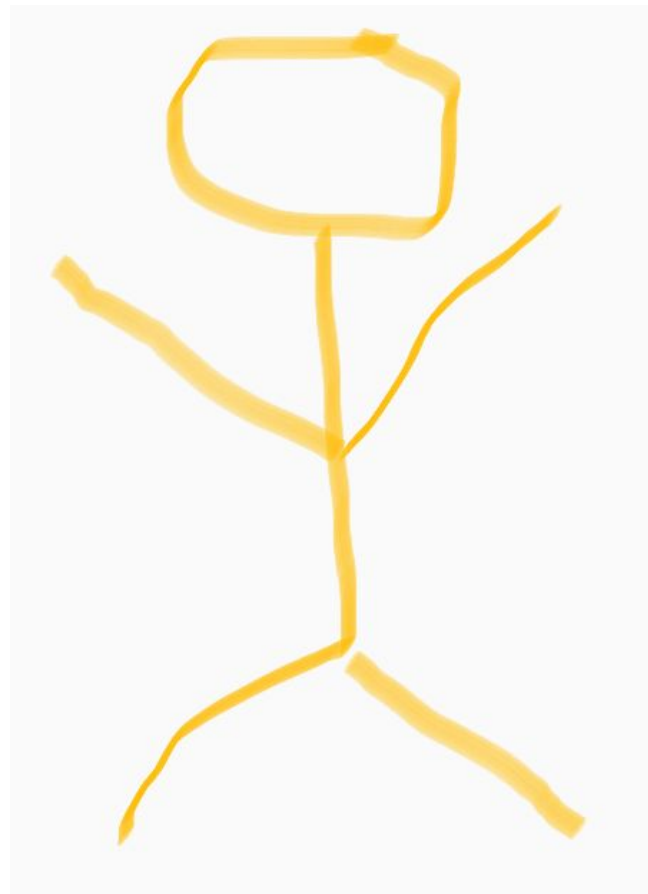
Človek?

Človek sa skladá z
hlavy, krku, trupu,
rúk a nôh.

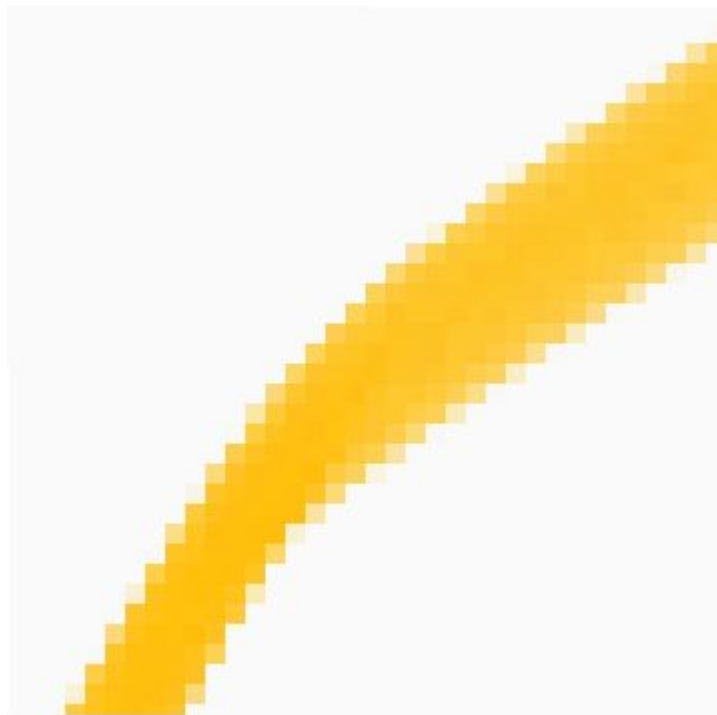


Obrázky?

Obrázok sa skladá z
pixelov.



Obrázok sa skladá z
pixelov.



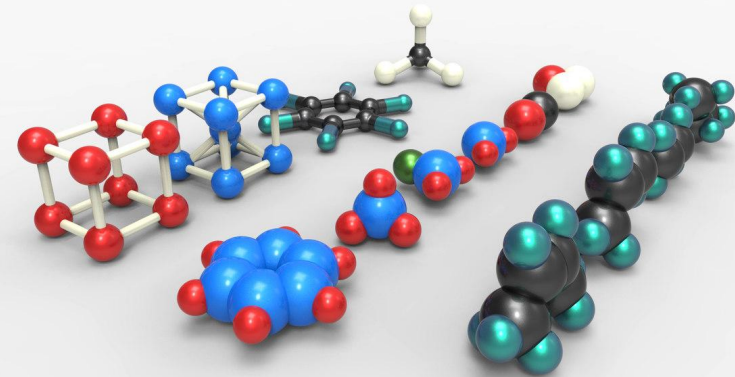
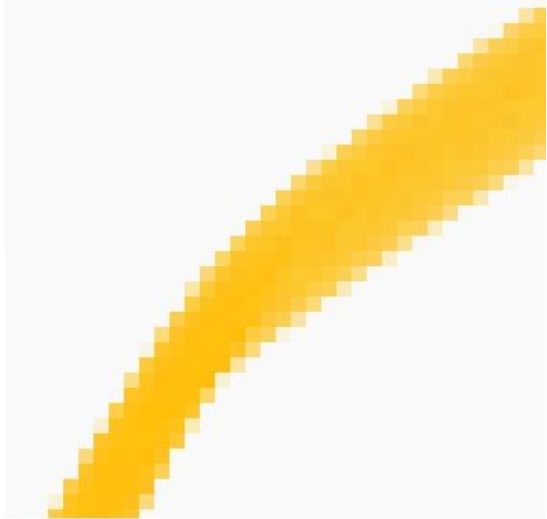
Všetko?

Všetko sa skladá z
atómov.

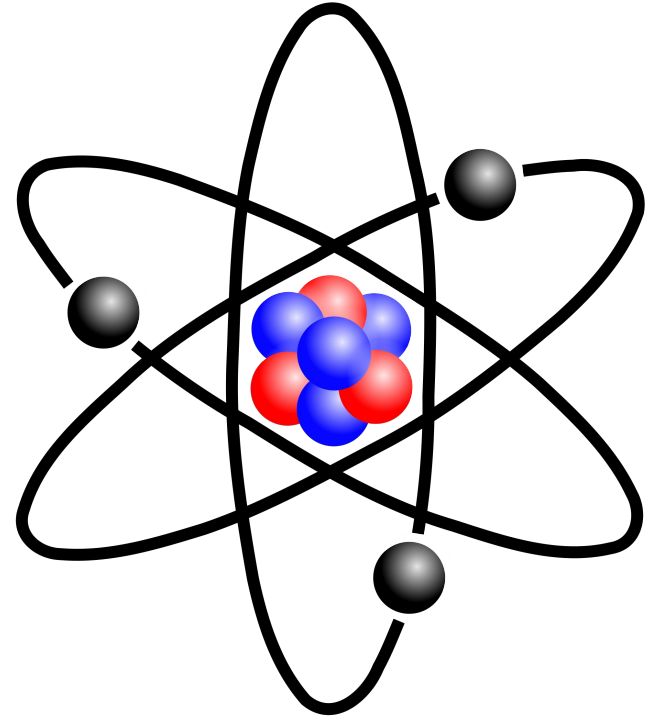


Všetko sa skladá z
atómov.

Podobne ako obrázok z pixelov

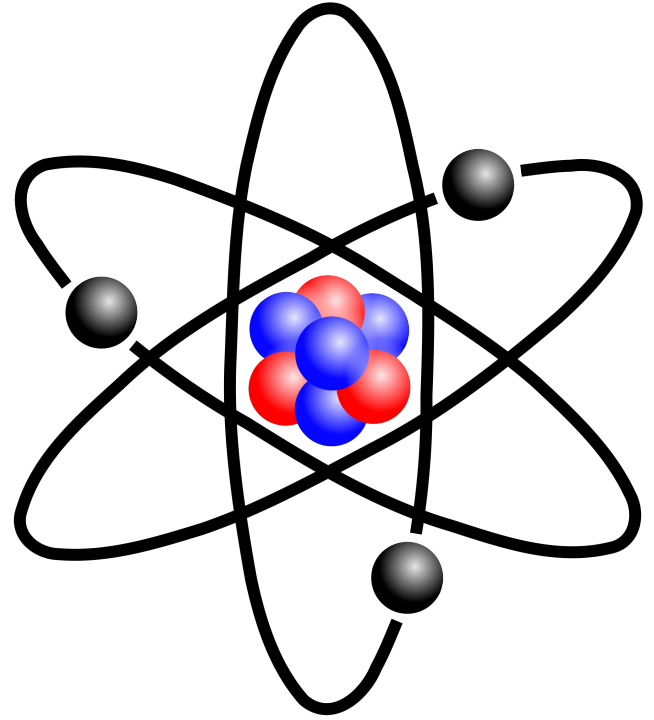


Atómy sa skladajú z
elektrónov, protónov a
neutrónov.

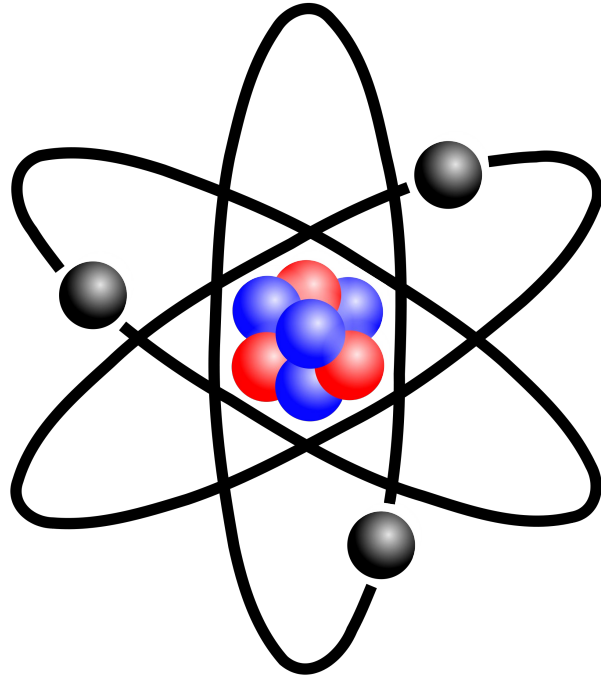


Atómy sa skladajú z
elektrónov, protónov a
neutrónov.

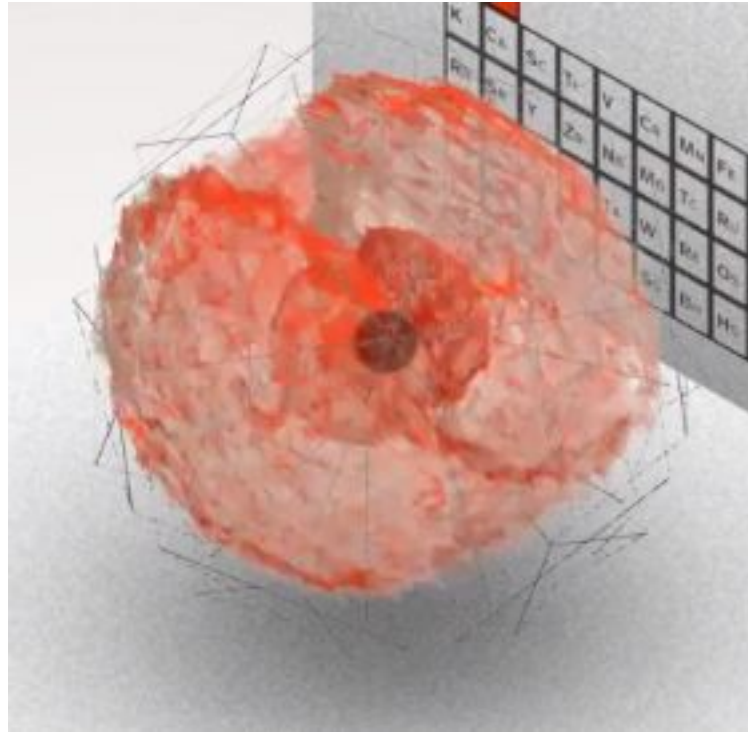
Inak, lebo to riadi
kvantová mechanika.



Princíp neurčitosti - nedá sa vedieť
ľubovoľne presne poloha a rýchlosť.



Princíp neurčitosti - nedá sa vedieť
ľubovoľne presne poloha a rýchlosť.

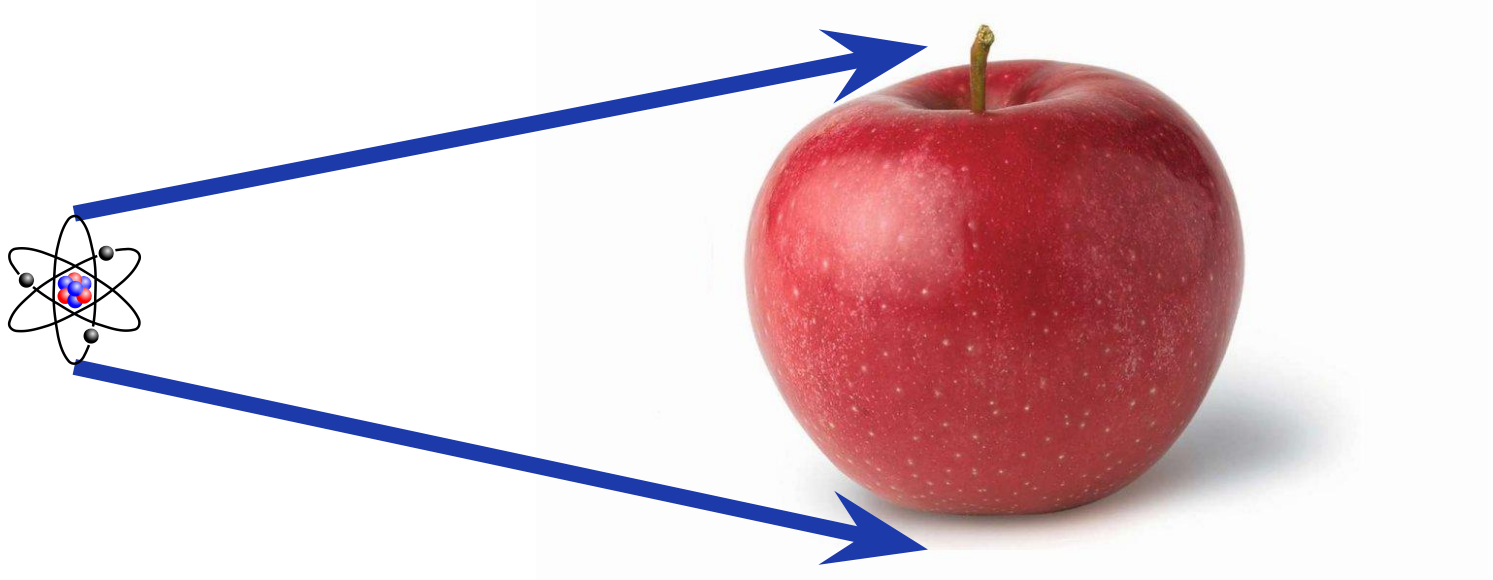


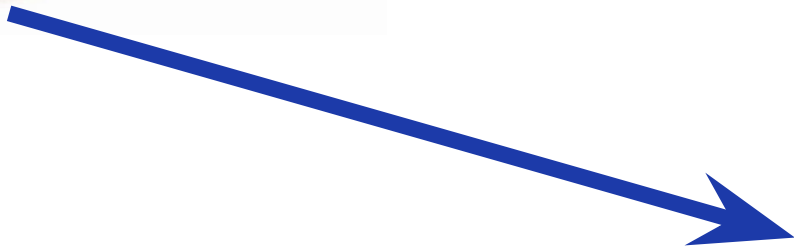
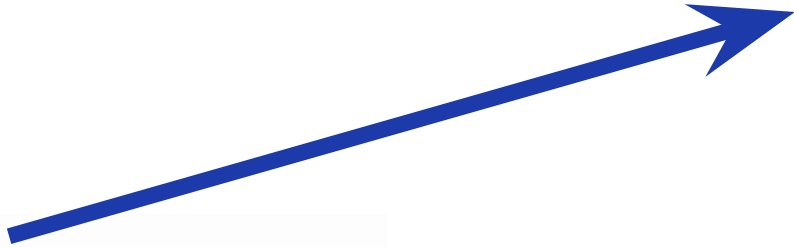
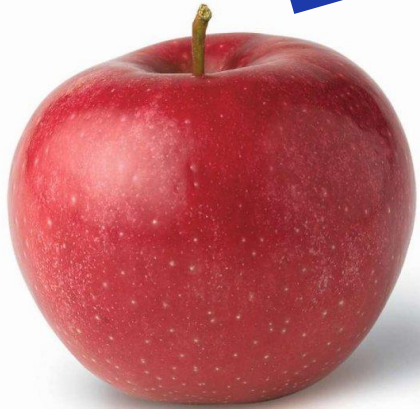
**Na úrovni (naozaj)
elementárnych
častíc znamená
“skladať sa” čosi iné
ako sme zvyknutí.**

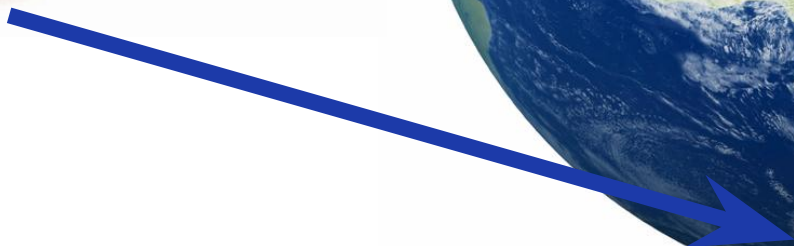
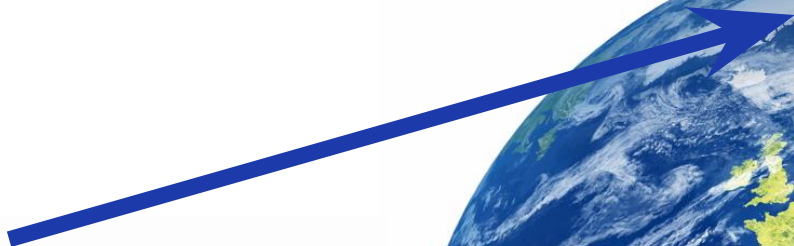
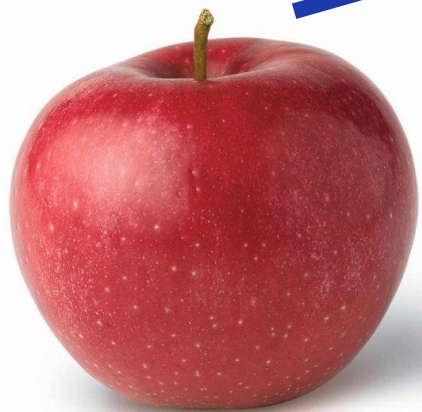
**Aké veľké sú
atómy?**

Atóm má veľkosť asi 10^{-10} m.

To je veľmi málo.







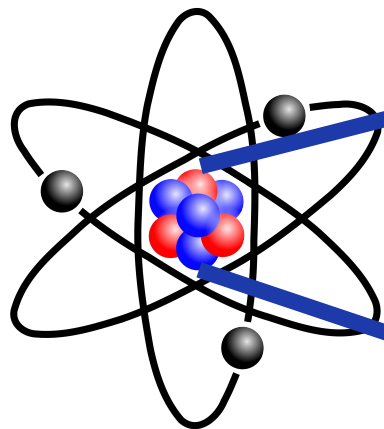
Atóm má veľkosť asi 10^{-10} m.

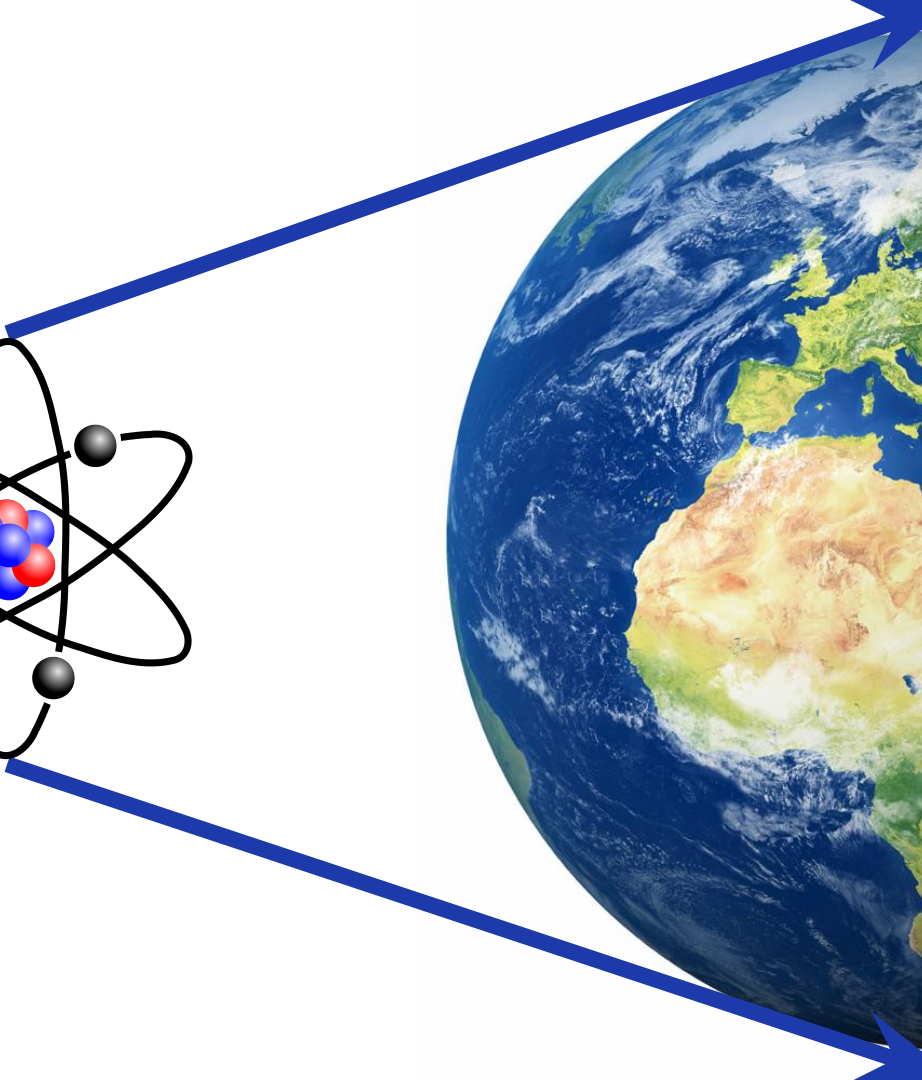
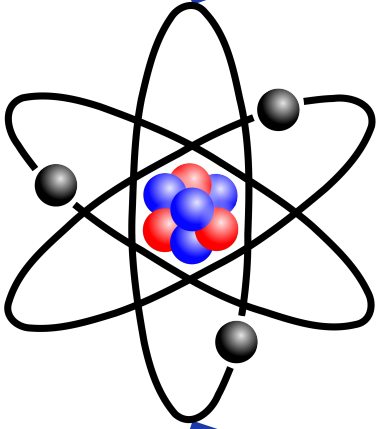
To je veľmi málo.

Atóm má veľkosť asi 10^{-10} m.

To je veľmi málo. Pre nás.

Jadro atómu asi 10^{-15} m.





Atóm má veľkosť asi 10^{-10} m.

To je veľmi málo. Pre nás.

Jadro atómu asi 10^{-15} m.

Meter, kilogram a sekunda sú
užite na mieru ľuďom.

Veci veľké/malé v týchto
jednotkách sú také pre ľudí.

**Pre rôzne situácie
existujú rôzne
vhodné jednotky.**

Vo **vodorovnom** a vo **zvislom**
smere meriame vzdialenosti v
rôznych jednotkách.

Vodorovný a zvislý smer sú pre
nás významne iné.

Prirodzené jednotky přírody

Hľadáme fundamentálnu teóriu, ktorá bude popisovať:

kvantovú mechaniku

teóriu relativity

gravitáciu

Hľadáme fundamentálnu teóriu, ktorá bude popisovať:

kvantovú mechaniku \hbar

teóriu relativity c

gravitáciu G

Z \hbar , c , G vieme nakombinovať jednotky vzdialenosti, času a hmotnosti.

Planckova dĺžka

Planckov čas

Planckova hmotnosť

Z \hbar , c , G vieme nakombinovať jednotky vzdialenosti, času a hmotnosti.

Planckova dĺžka 10^{-35} m

Planckov čas 10^{-43} s

Planckova hmotnosť 10^{-8} kg

Z \hbar , c , G vieme nakombinovať jednotky vzdialenosti, času a hmotnosti.

Planckova dĺžka 10^{-35} m

Planckov čas 10^{-43} s

Planckova hustota 10^{97} kg/m³

Toto sú prirodzené jednotky prírody.

Pri procesoch na tejto úrovni hrajú úlohu všetky tri fundamentálne teórie.

Pre prírodu je **človek veľký** $10^{35} L_P$.

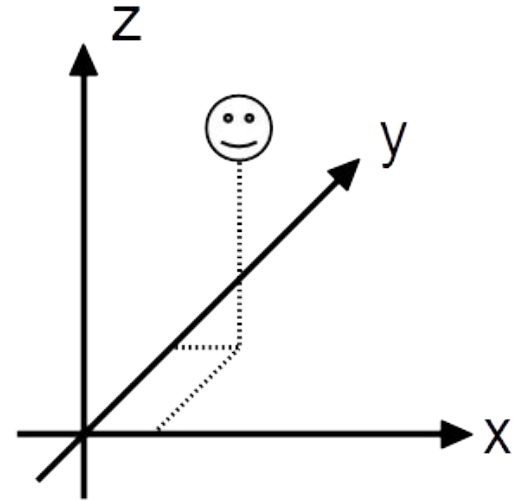
**Prirodzené
jednotky prírody sú
na míle vzdialené
nášmu svetu.**

**Fundamentálna
fyzika je na míle
vzdialené nášmu
svetu.**

**Čo to znamená
skladat' sa z
niečoho?**

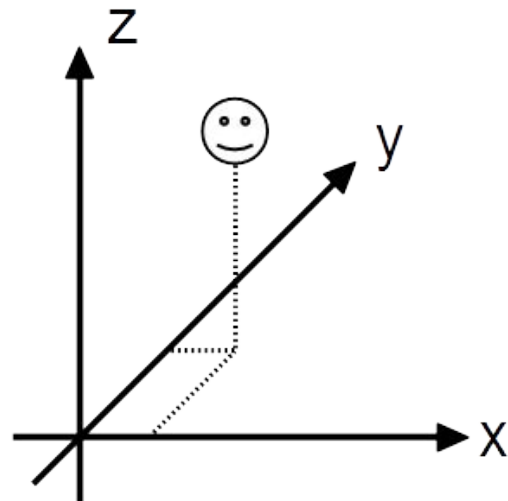
Priestor?

Priestor priestor je javisko,
na ktorom sa deje fyzika.



Priestor priestor je javisko,
na ktorom sa deje fyzika.

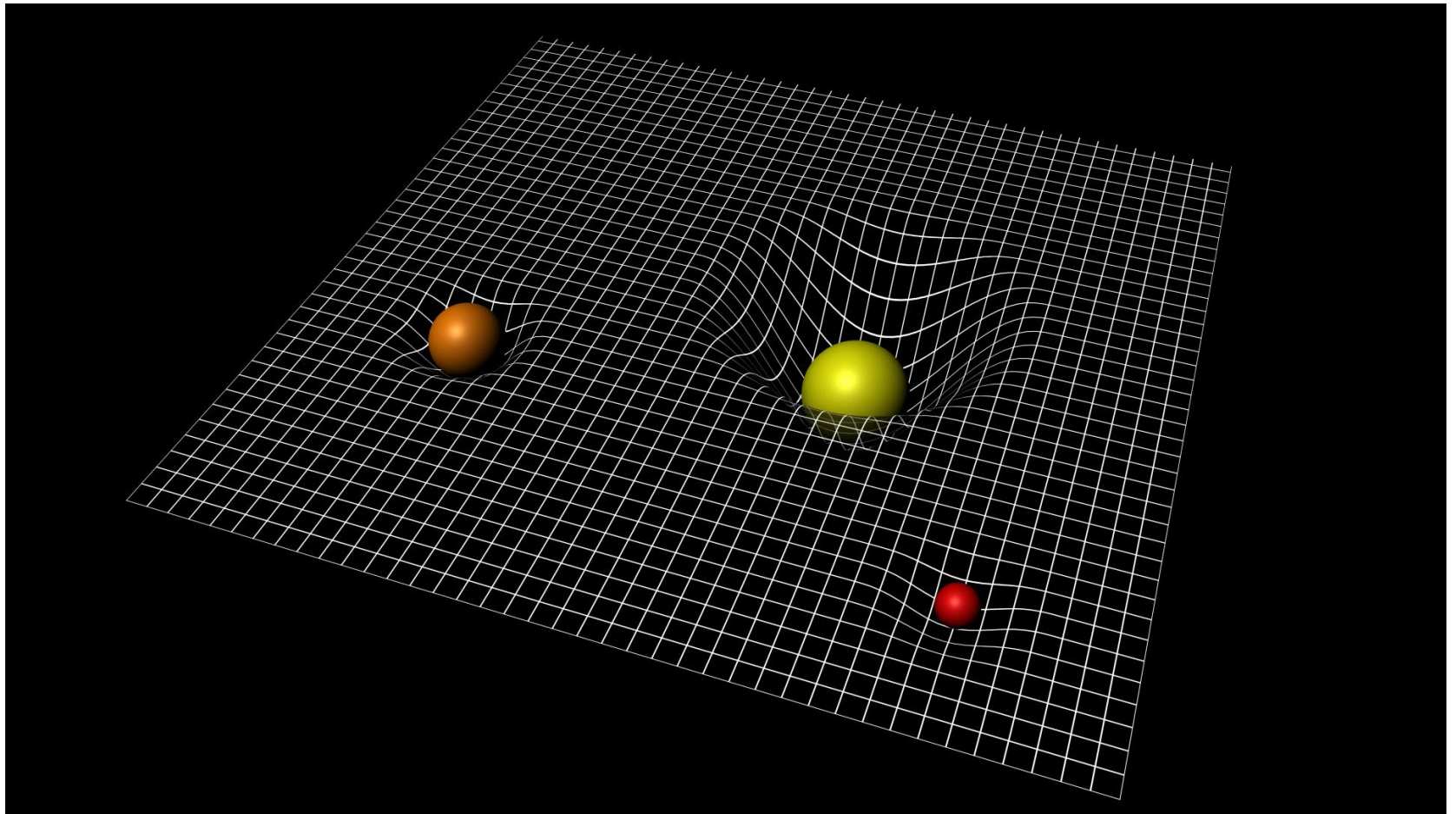
Ako sa môže z niečoho
skladať?



**Einstein -
priestor je
dynamický**

Hmota zakrivuje priestor.

Zakrivenie priestoru je gravitácia.



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

hmota



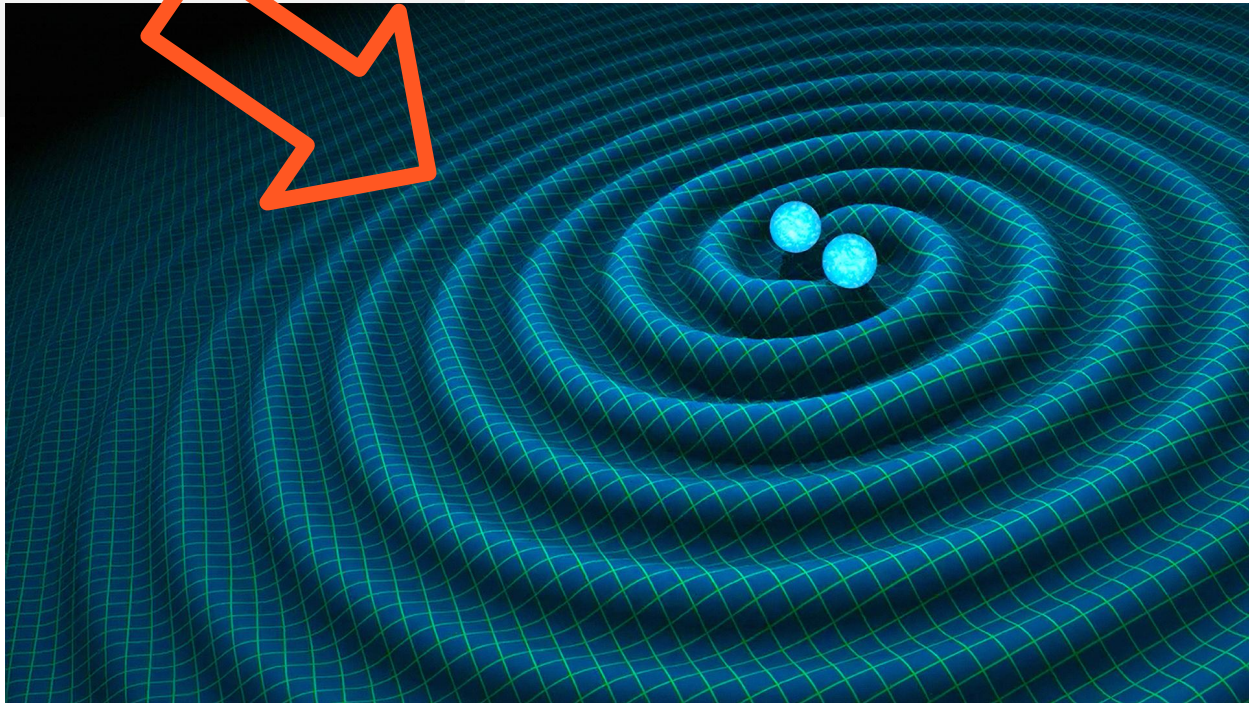
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$



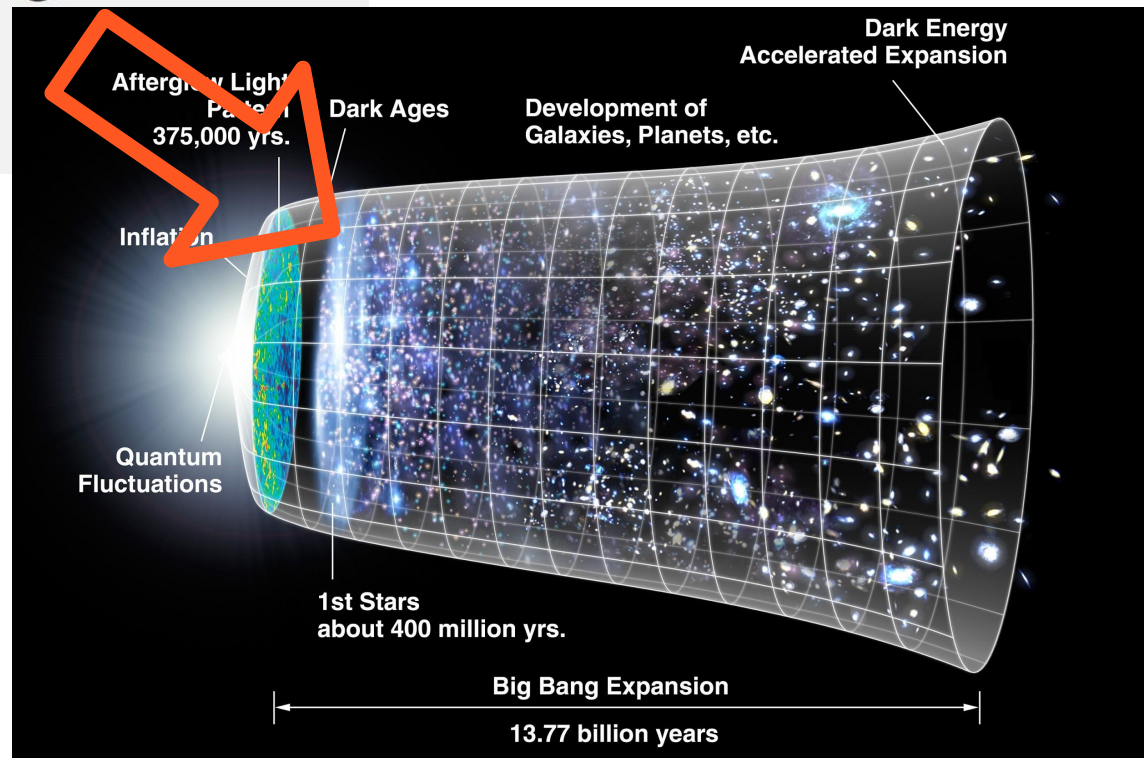
priestor

**Priestor je oveľa viac
ako pasívnym javiskom
pre všetko ostatné.**

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$



Kvantová gravitácia

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

hmota



hmotnosť
náboj
spin

KVARKY

$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$
 $\frac{2}{3}$
 $\frac{1}{2}$
u
up

$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$
 $\frac{2}{3}$
 $\frac{1}{2}$
c
charm

$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$
 $\frac{2}{3}$
 $\frac{1}{2}$
t
top

0
0
1
g
gluón

$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
0
0
0
H
higgs

$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$
 $-\frac{1}{3}$
 $\frac{1}{2}$
d
down

$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$
 $-\frac{1}{3}$
 $\frac{1}{2}$
s
strange

$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$
 $-\frac{1}{3}$
 $\frac{1}{2}$
b
bottom

0
0
1
 γ
fotón

$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$
-1
 $\frac{1}{2}$
e
elektrón

$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$
-1
 $\frac{1}{2}$
 μ
muón

$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$
-1
 $\frac{1}{2}$
 τ
tau

$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$
0
1
Z
Z bozón

LEPTÓNY

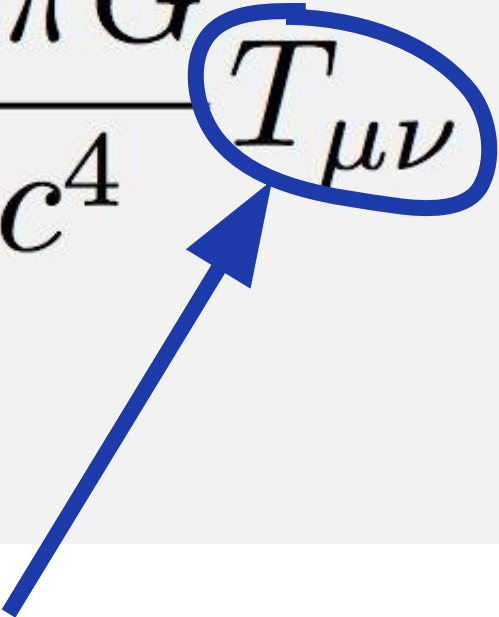
$< 2.2 \text{ eV}/c^2$
0
 $\frac{1}{2}$
 ν_e
elektrónové neutríno

$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$
0
 $\frac{1}{2}$
 ν_μ
muónové neutríno

$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$
0
 $\frac{1}{2}$
 ν_τ
tau neutríno

$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$
 ± 1
1
W
W bozón

BOZÓNY

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$


popísaná kvantovou teóriou

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$



priestor



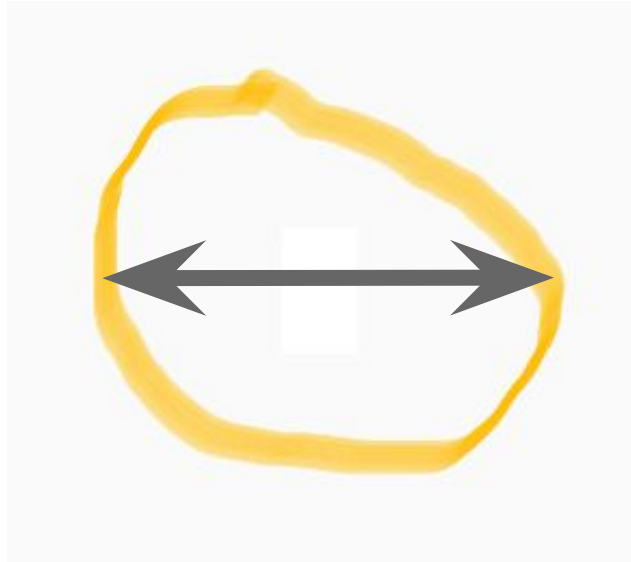
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

analýza

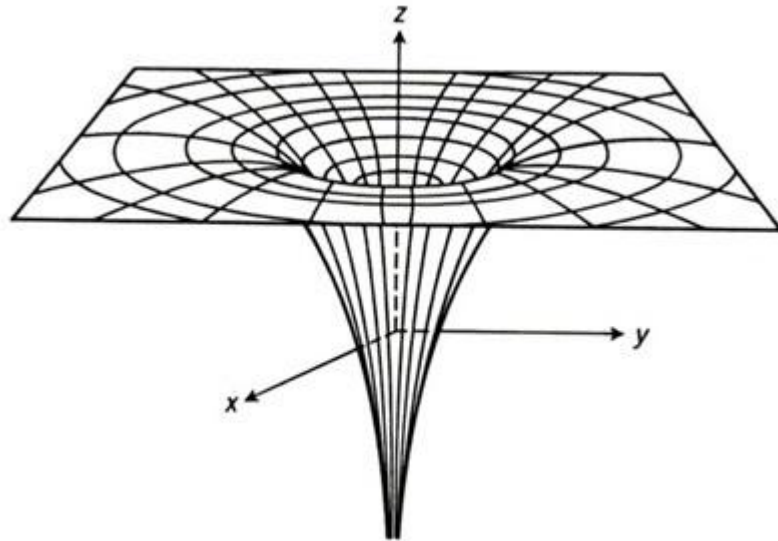
algebra

Malé častice a čierne diery

\hbar - čím menšia častica, tým väčšia energia



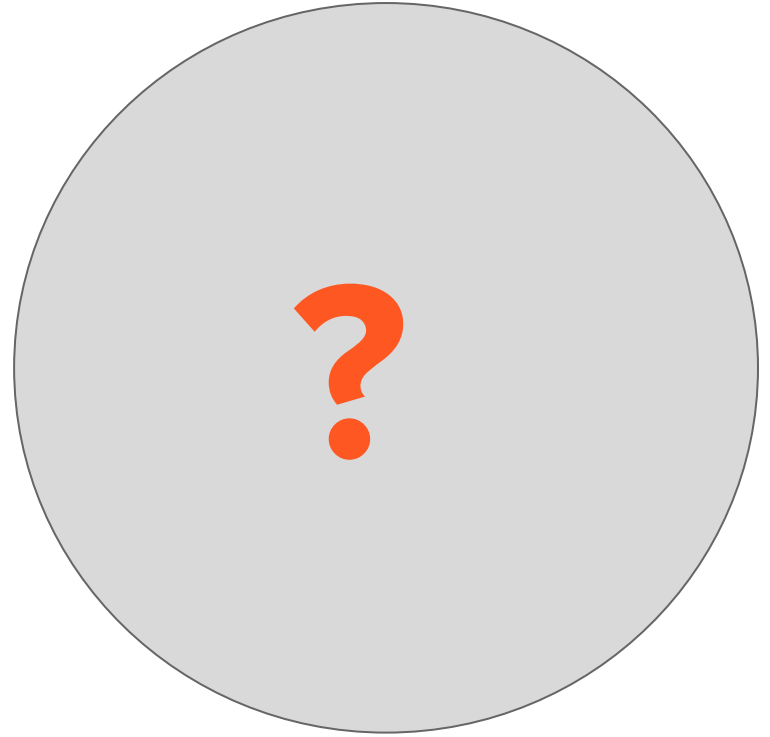
G - priveľa energie na jednom mieste
vytvorí čiernu dieru

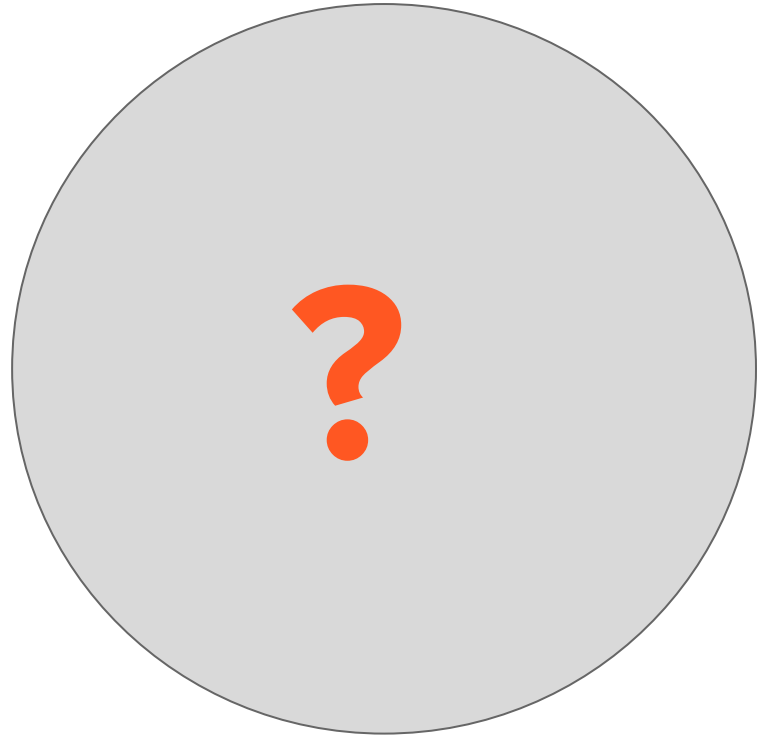
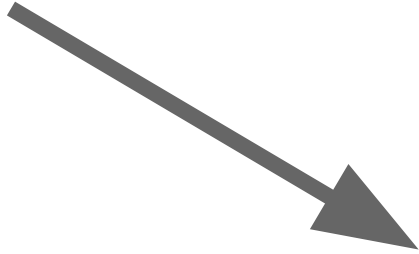


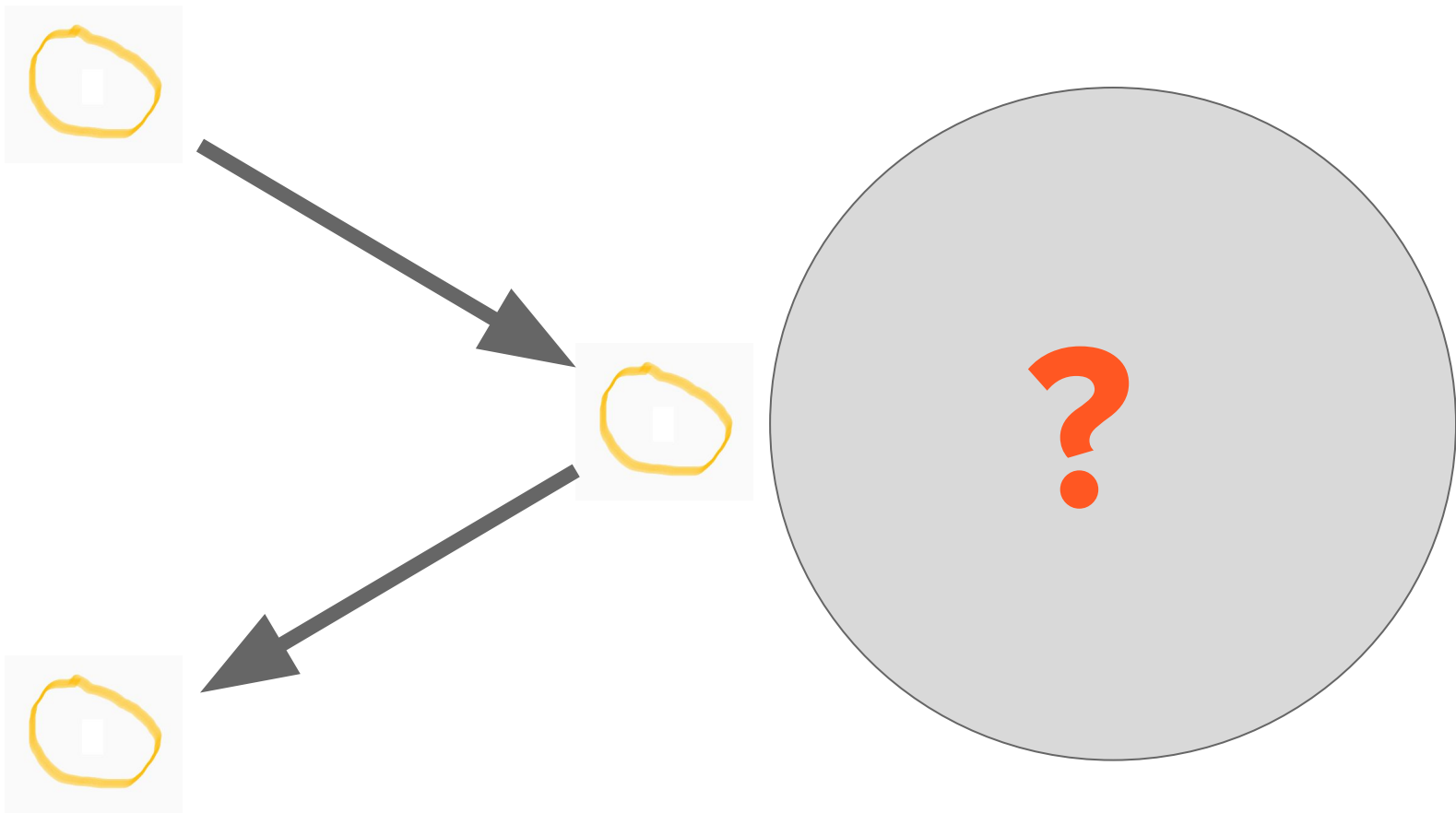
\hbar - čím menšia častica, tým väčšia energia

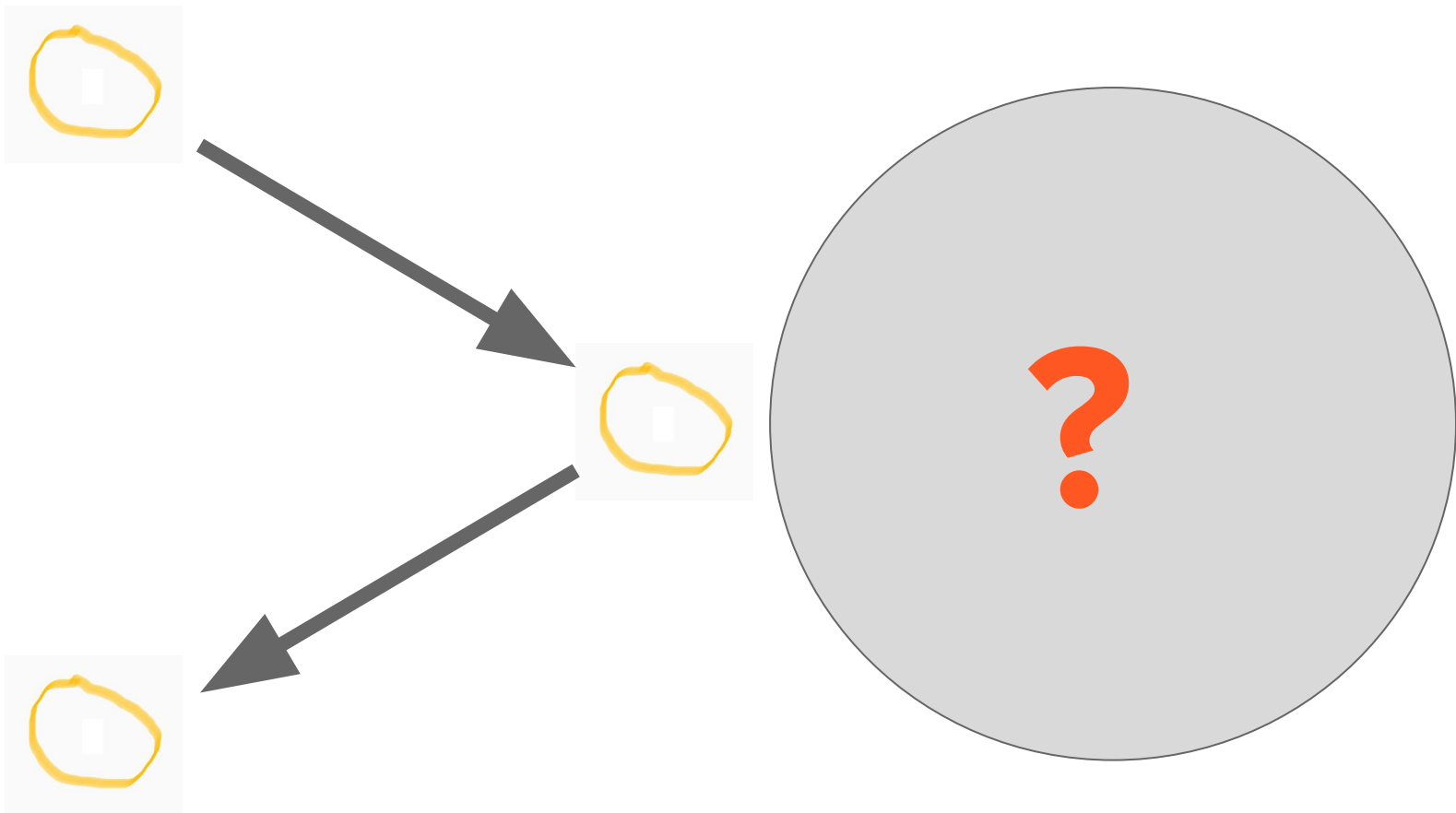
G - priveľa energie na jednom mieste
vytvorí čiernu dieru

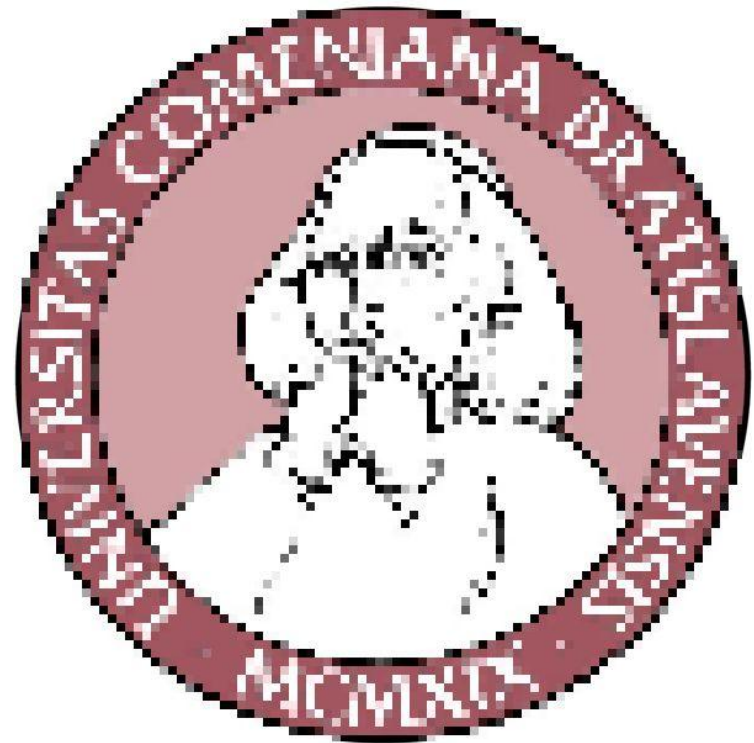
$\hbar+G$ - veľmi lokalizované častice okolo
seba tvoria čierne diery

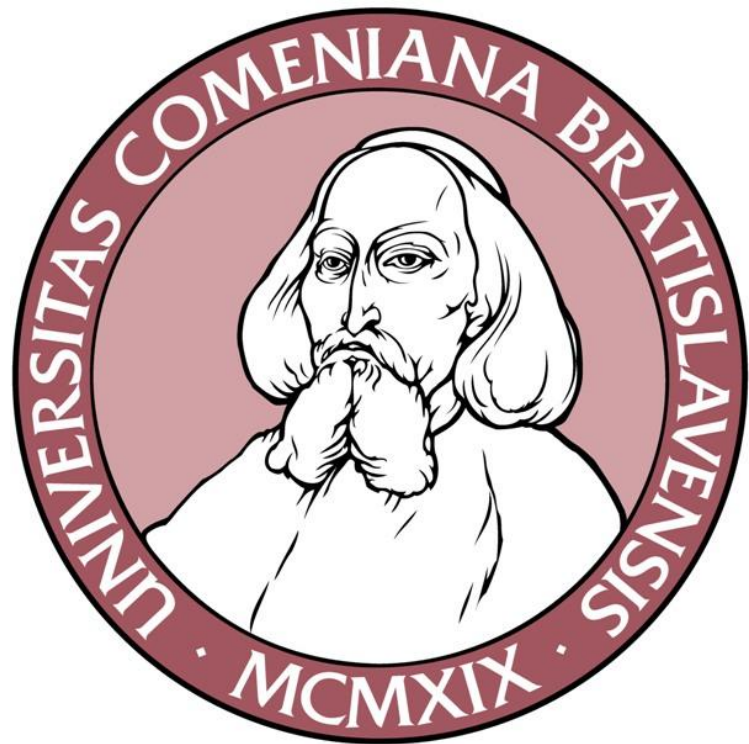
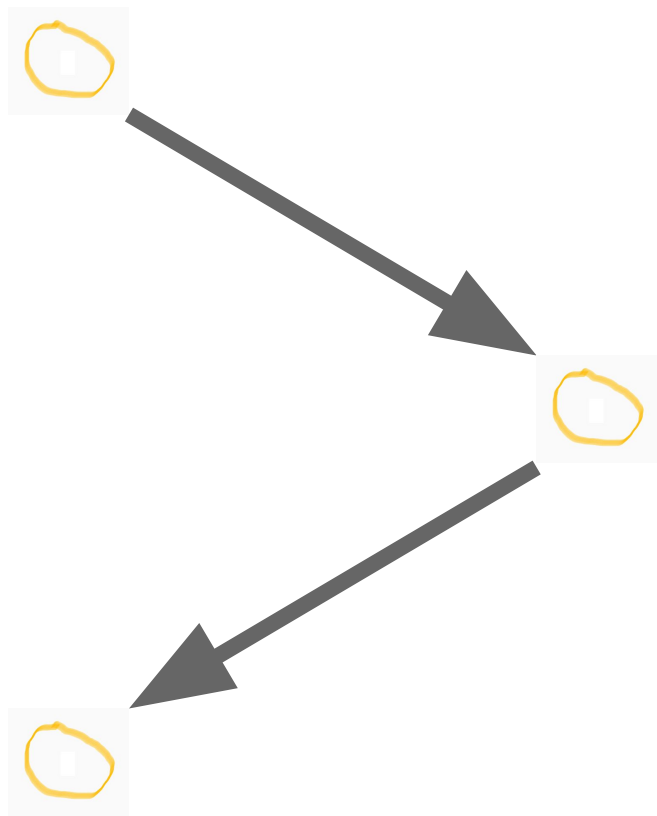






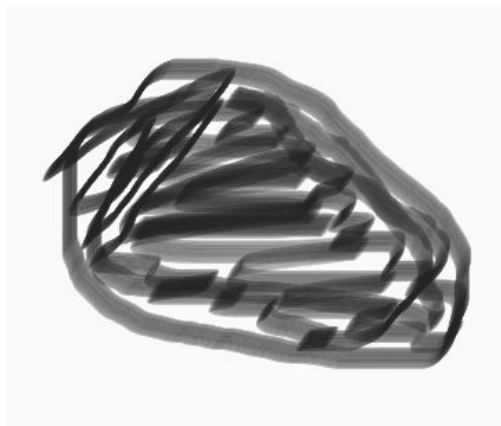




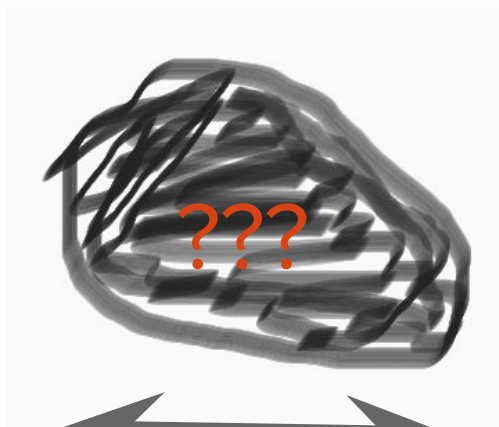










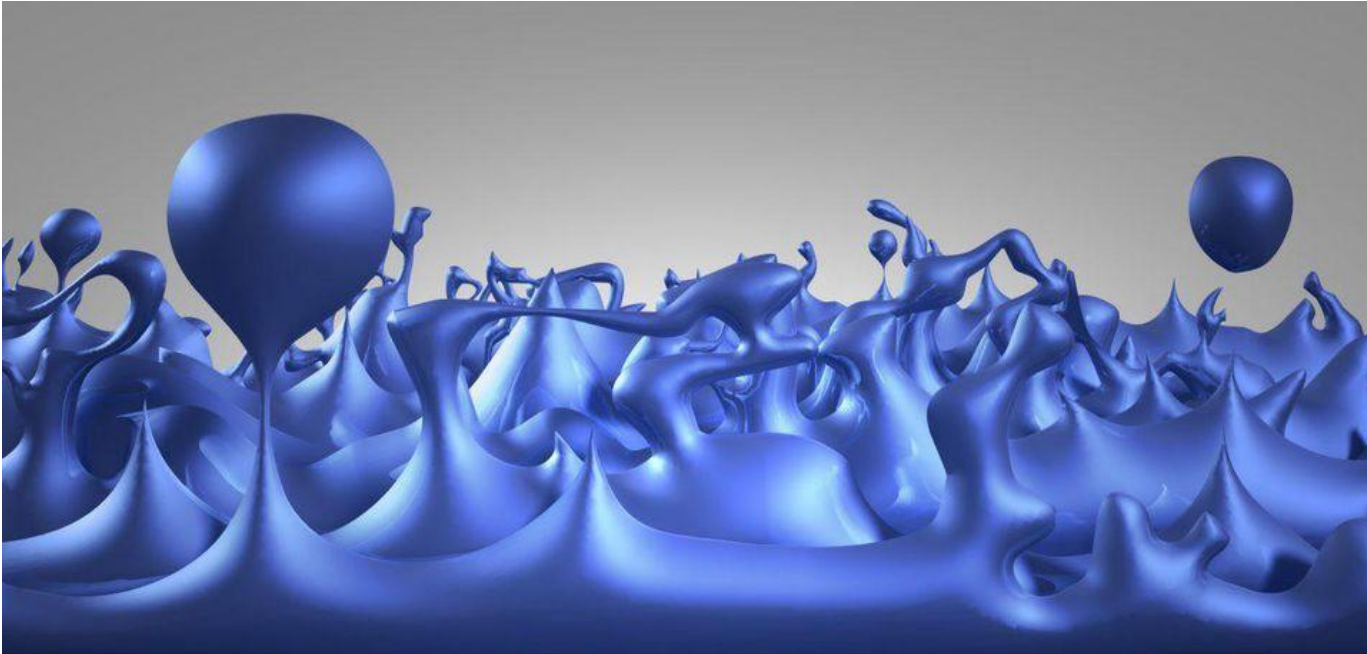


L_p

Procesy na menších škálach ako L_p sú pred svetom na väčších vzdialenostiach ukryté.

To ale ešte neznamená, že nemôžu existovať.

\hbar - vo vákuu neustále vznikajú a zanikajú
častice (kvantové fluktuácie)



\hbar - vo vákuu neustále vznikajú a zanikajú
častice (kvantové fluktuácie)

G - priveľa energie na jednom mieste
vytvorí čiernu dieru

$\hbar+G$ - vákuum sa rozpadne na spústu
čiernych dier

**Problém: velmi
lokalizovaná energia
spôsobuje nestability.**

Experiment

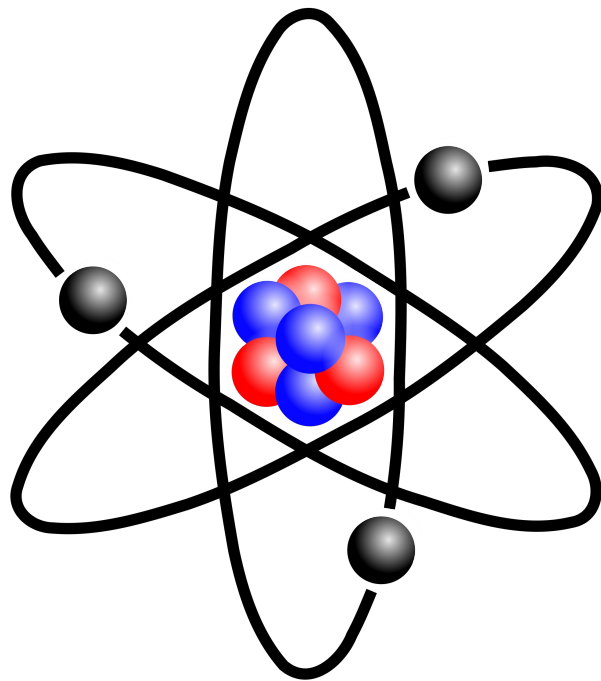
**Riešenie: nič také ako
veľmi lokalizované v
priestore neexistuje.**

Riešenie

V priestore sa nedá vytvoriť ľubovoľne malý objekt.

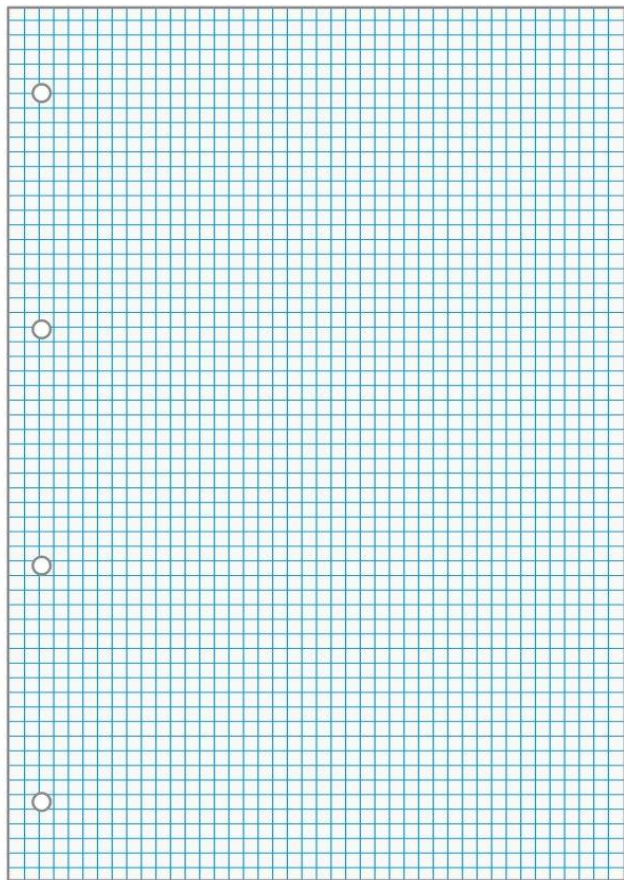
Na vzdialenostiach L_p sa priestor skladá z kúskov.

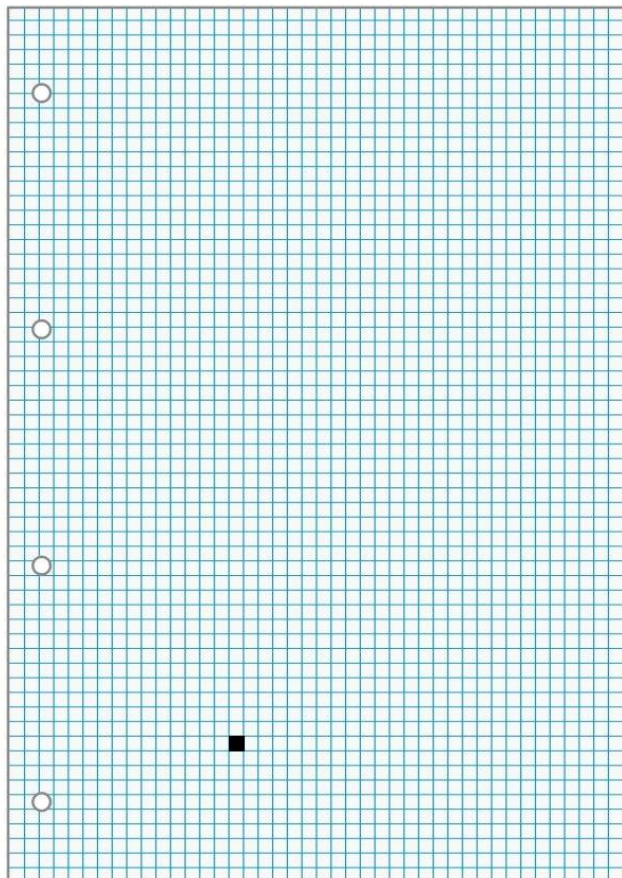
Takáto štruktúra v kvantovej
mechanike zachraňuje **stabilitu atómov**.



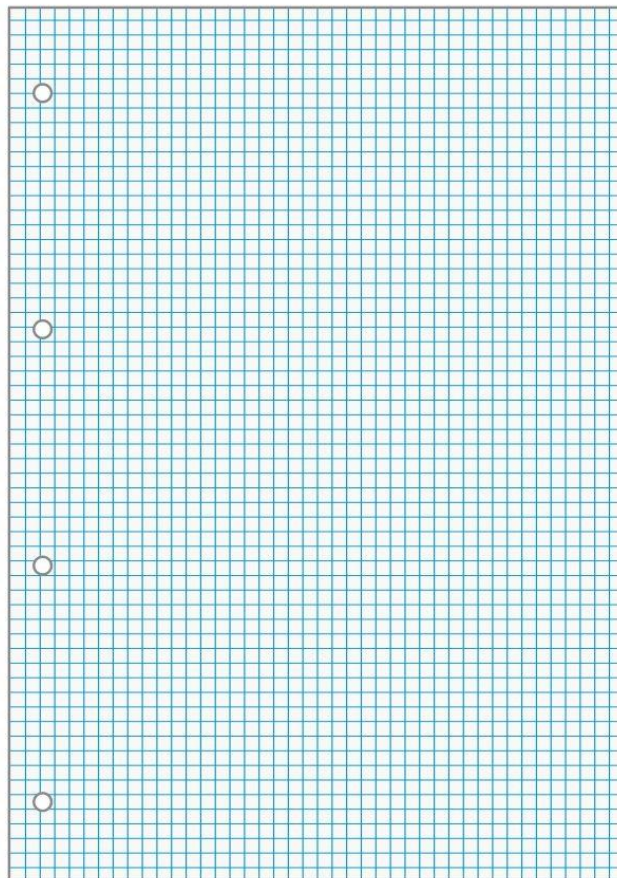
**Môže sa priestor z
niečoho skladať?**

**Štvorčekovaný
papier**



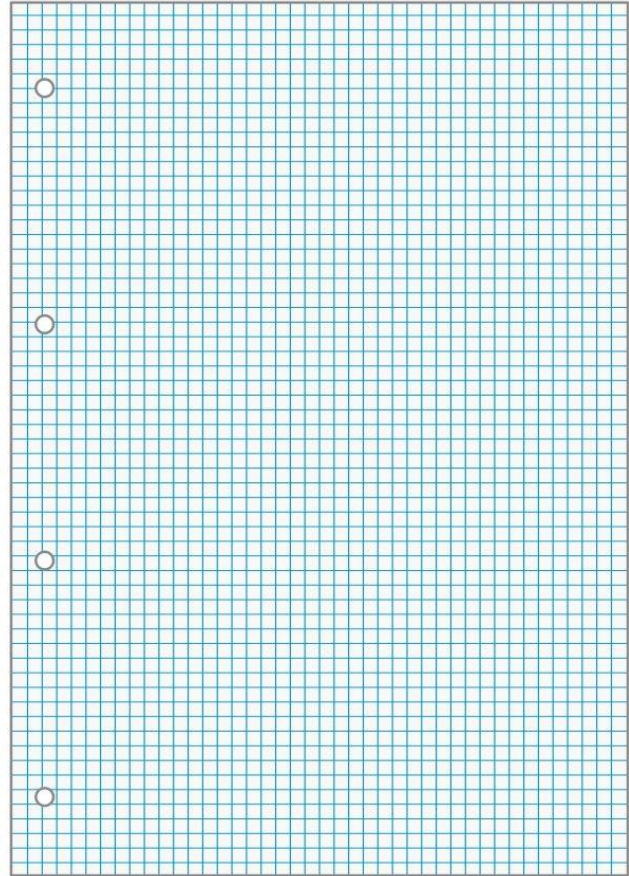


Takýto priestor má
oveľa **menšiu**
symetriu.

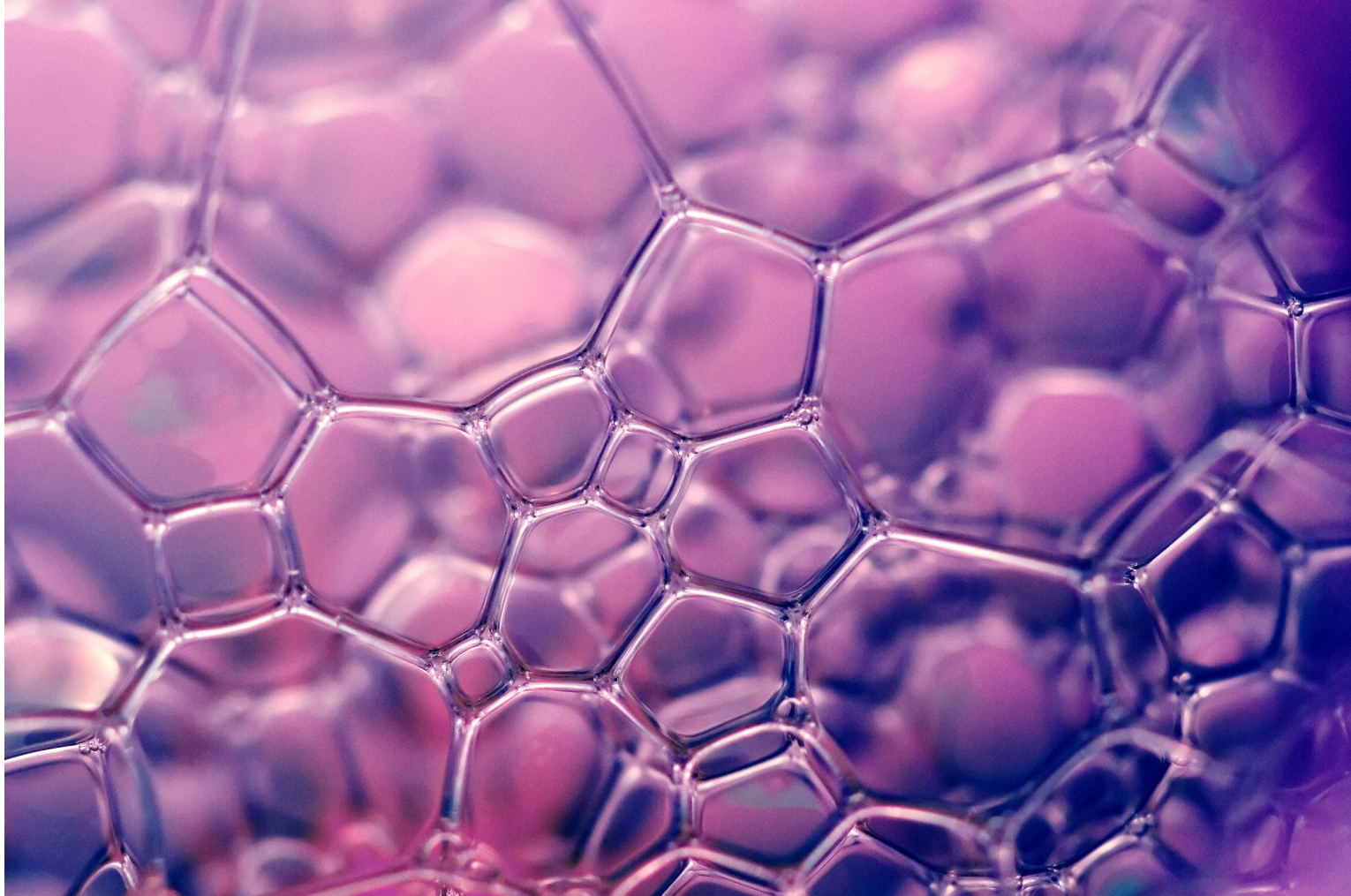


Takýto priestor má
oveľa **menšiu**
symetriu.

To je problém, na
symetriách je
založený náš popis
sveta.



**Bublínkový
priestor**



Takýto priestor priestor má (sa dá spraviť tak aby mal) **úplnú symetriu**.

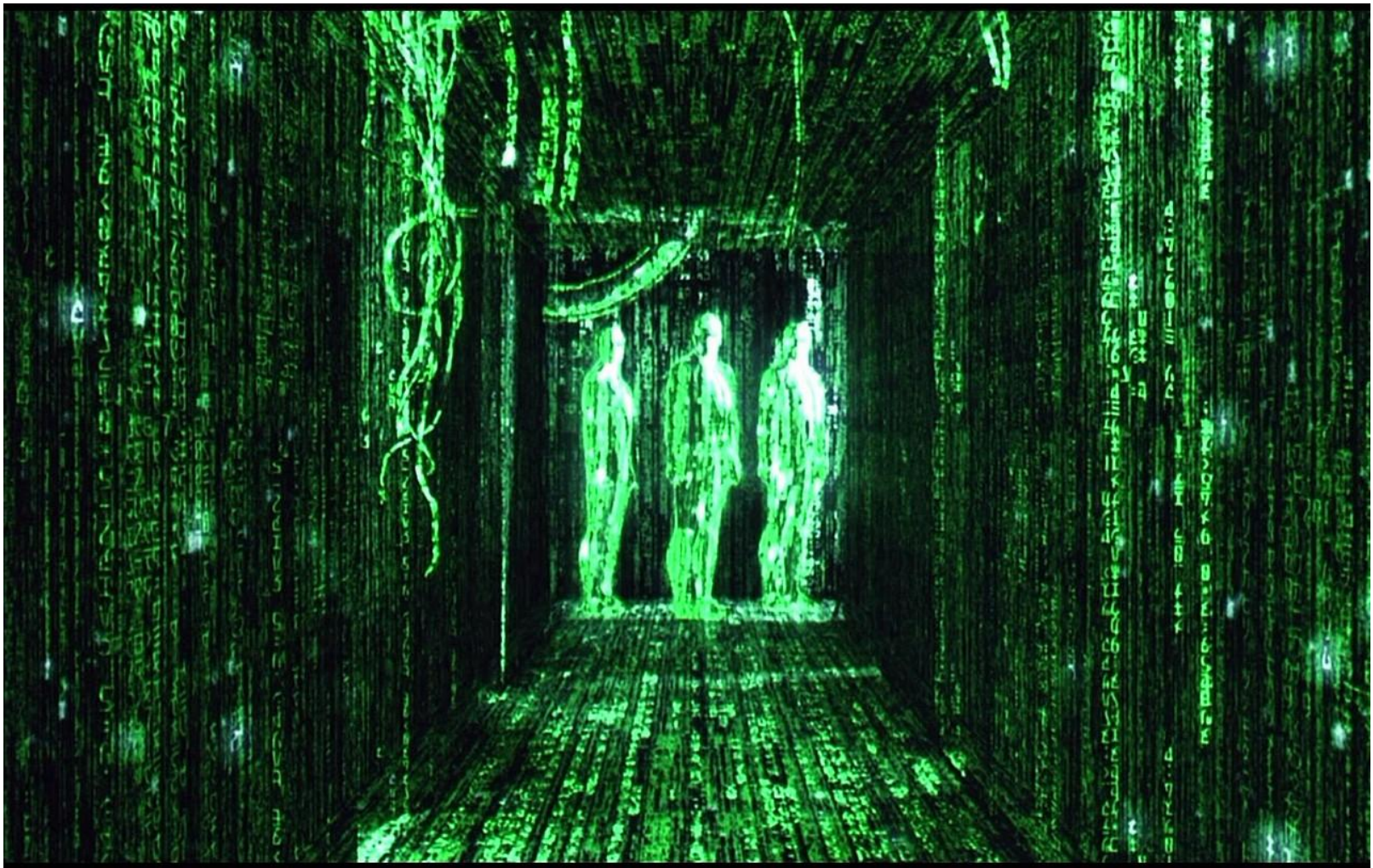
Hovorí sa tomu **nekomutatívny priestor**.

Idea podobná ako v kvantovej mechanike.

Vynárajúci sa
(emerging)
priestor

Priestor v skutočnosti **neexistuje**.

Vlastnosti častíc ako poloha, rýchlosť,
vzájomná vzdialenosť sú dôsledkom
interakcie s niečim iným.



Jedna z možností je **teória strún**.

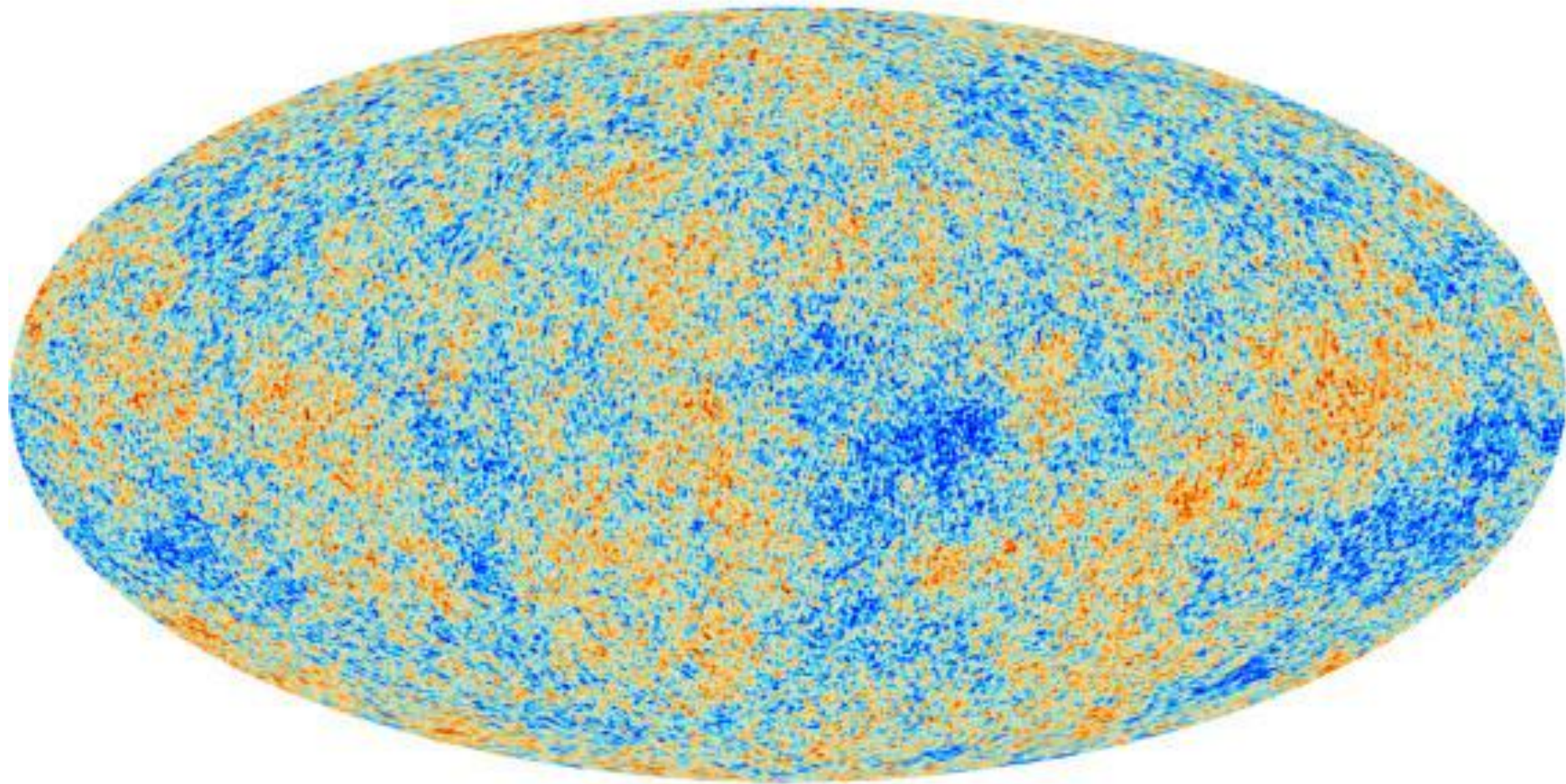
To iné sú **D0-brány**.

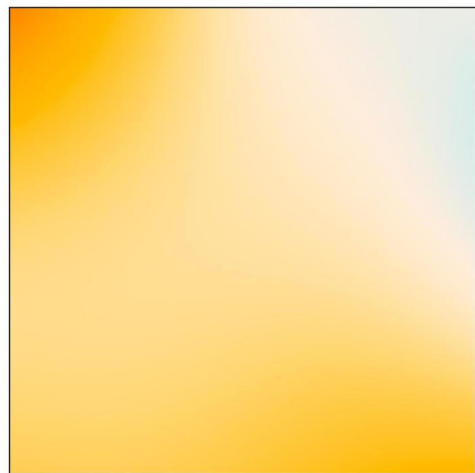
**Dá sa štruktúra
priestoru
uvidieť?**

Priamo **nie**. (V horizonte 100 rokov.)

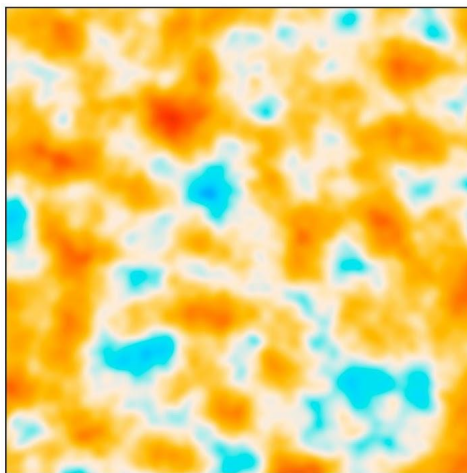
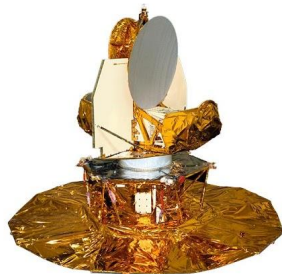
Priamo **nie**. (V horizonte 100 rokov.)

Nepriamo **áno**. (Dôsledky.)

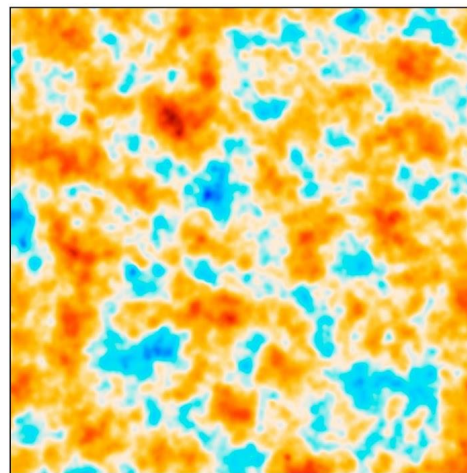




COBE



WMAP



Planck

Štruktúra priestoru môže mať merateľné dôsledky na oveľa väčšej škále ako L_P .

Matematická konzistentnosť fundamentálnej teórie môže mať dôsledky na oveľa väčšej škále ako L_P .

**Spojenie kvantovej
mechaniky a teórie
gravitácie predpovedá
štruktúru priestoru.**

**Z určitostí nevieme
akú.**

**Ale rozmysliet' si to je
klúčovým krokom v
ceste za teóriou
kvantovej gravitácie.**

**Ďakujem za
pozornosť!**

