

Môže sa priestor z niečoho skladať?

Juraj Tekel, KTF FMFI UK

4.11.2019, Akadémia ozbrojených síl gen. M.R. Štefánika,
Lipt. Mikuláš

WWW.TYZDENVEDY.SK

TÝŽDEŇ VEDY A TECHNIKY
NA SLOVENSKU

4. - 10.
NOVEMBER
2019



Veda a technika je
dôležitá a užitočná.

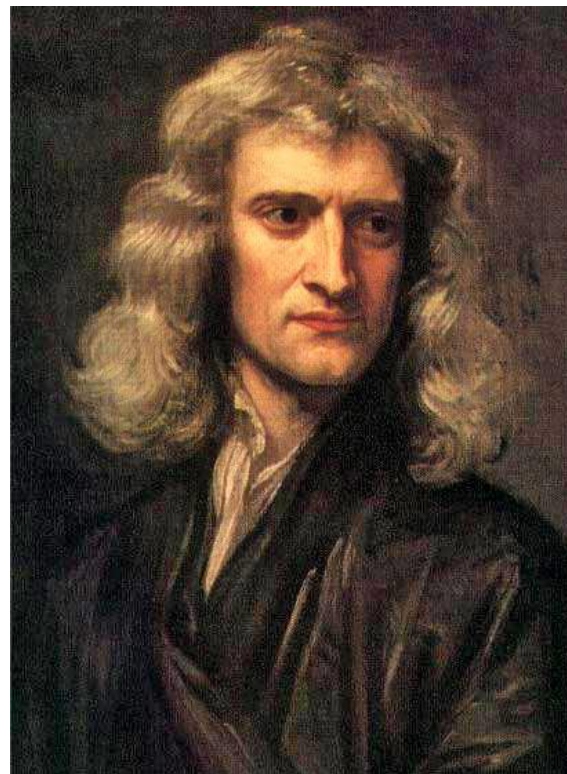
Veda a technika je
zaujímavá.

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 elektro-magnetizmu.



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.

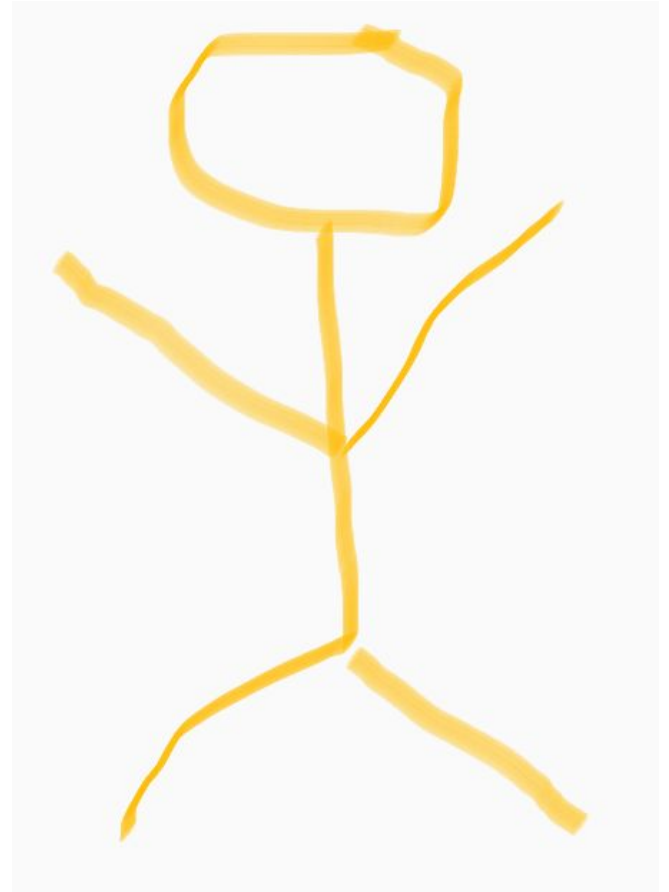
**Spojenie kvantovej
mechaniky a teórie
gravitácie predpovedá
štruktúru priestoru.**

Môže sa priestor z
niečoho **skladať**?

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

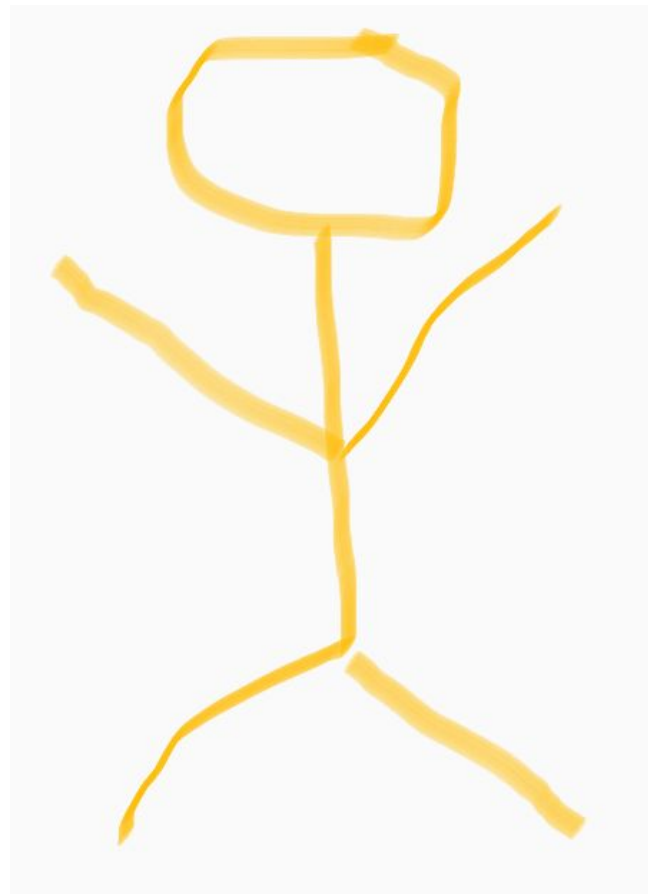
Človek?

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

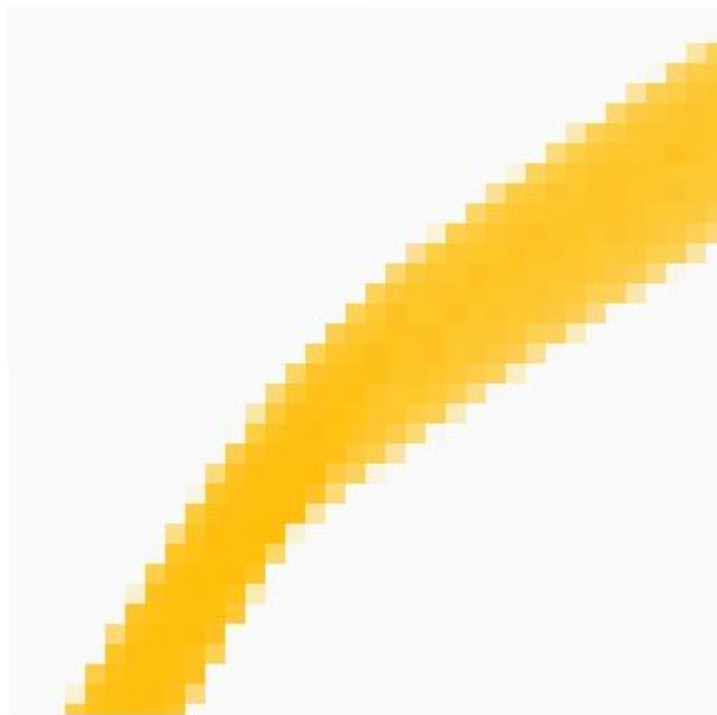


Obrázky?

Obrázok sa skladá z
pixelov.



Obrázok sa skladá z
pixelov.



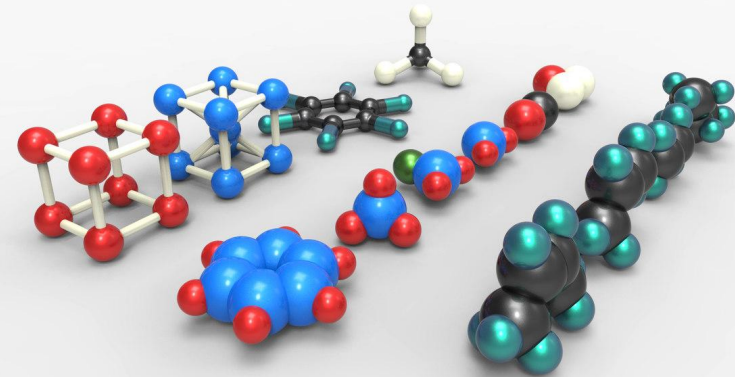
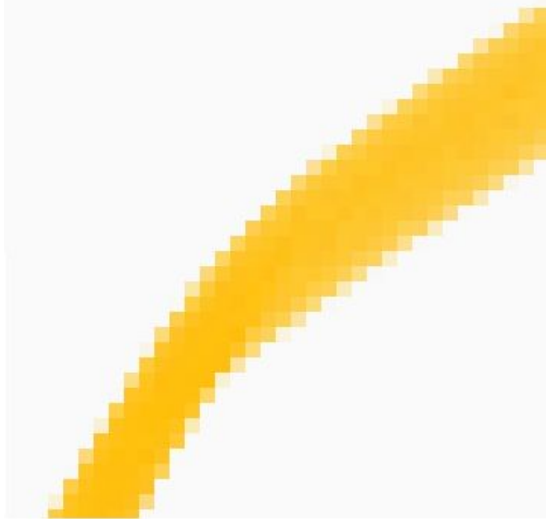
Všetko?

Všetko sa skladá z
atómov.

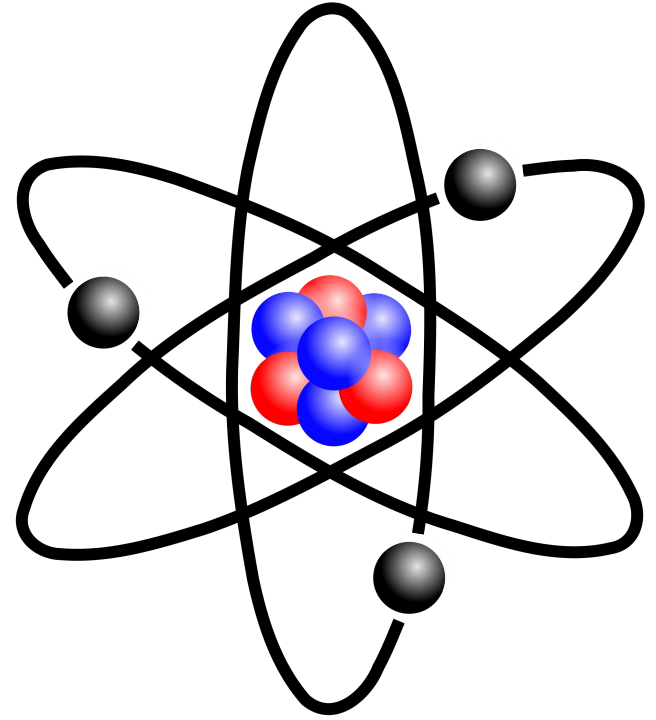


Všetko sa skladá z
atómov.

Podobne ako obrázok z pixelov

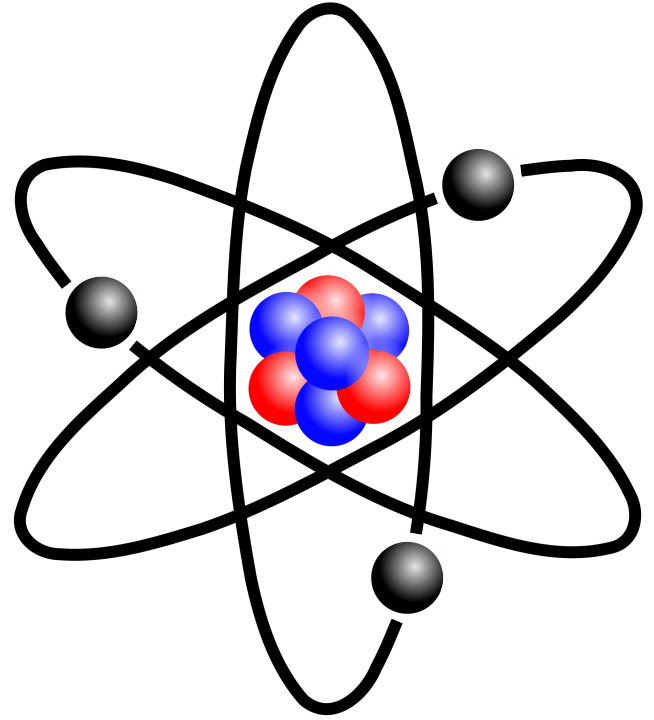


Atómy sa skladajú z
elektrónov, protónov a
neutrónov.



Atómy sa skladajú z
elektrónov, protónov a
neutrónov.

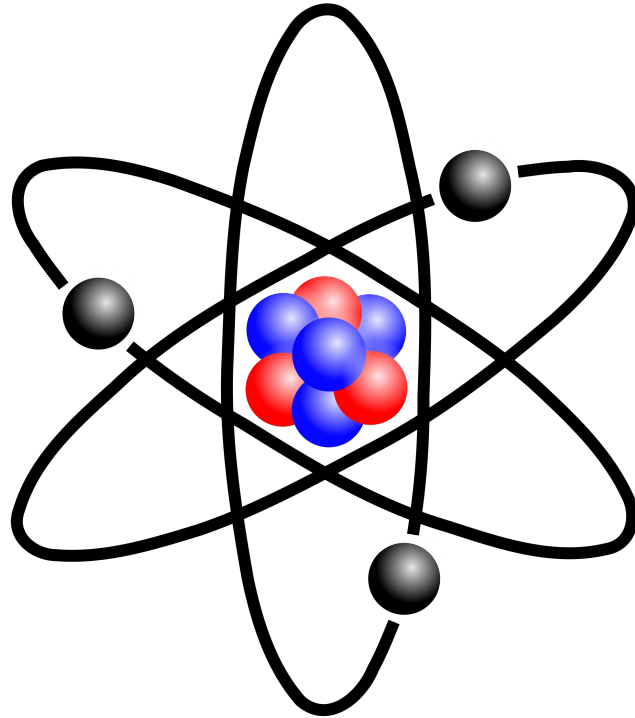
Inak, lebo to riadi
kvantová mechanika.



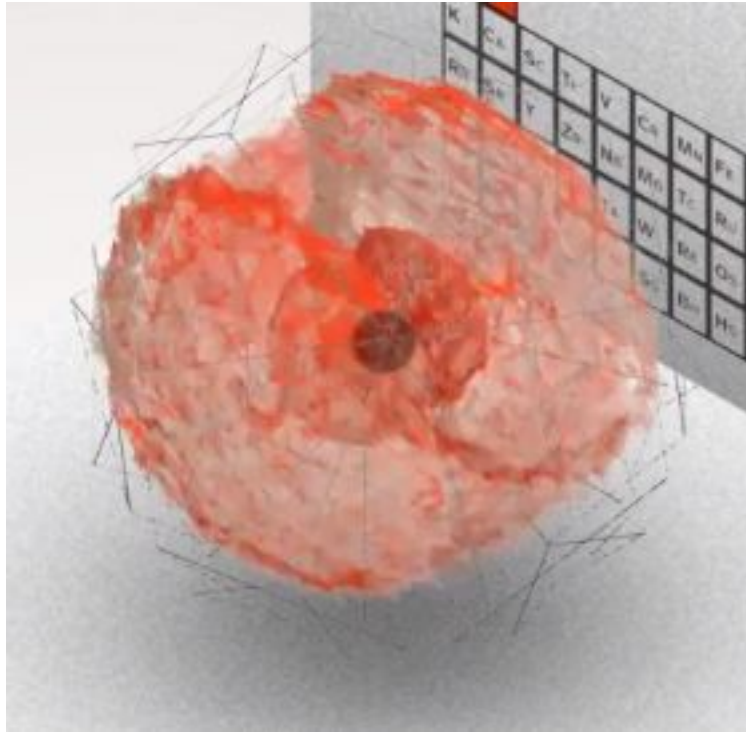
Princíp neurčitosti - nedá sa vedieť
ľubovoľne presne poloha a rýchlosť.

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar / 2$$

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



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

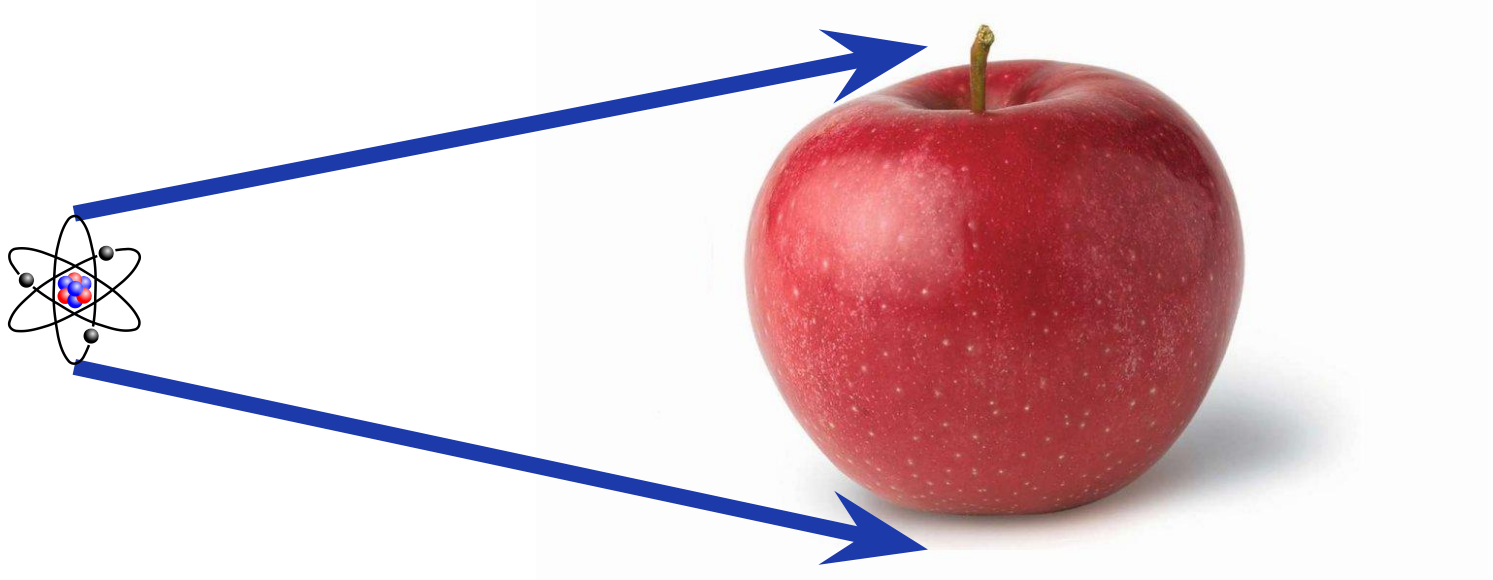


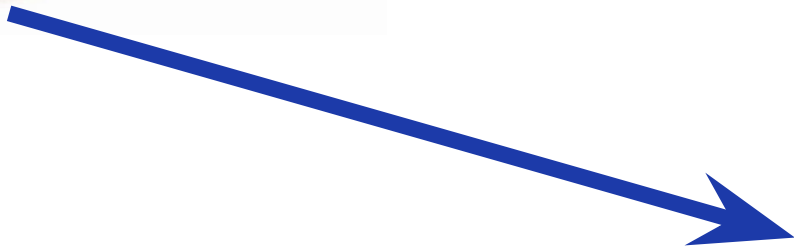
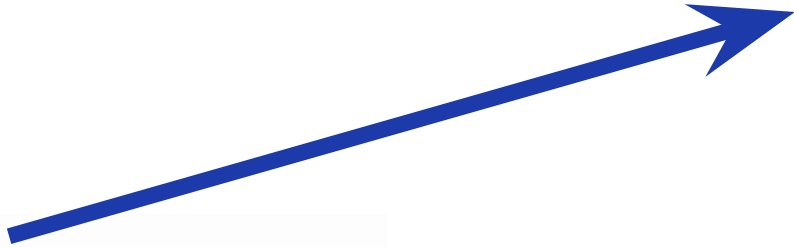
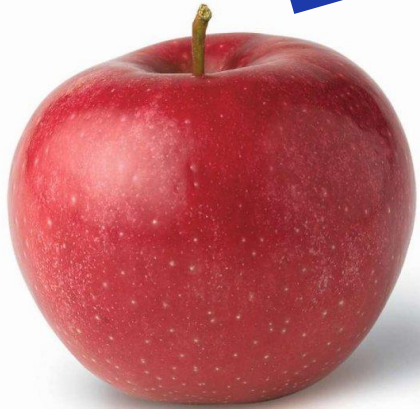
**Na úrovni (naozaj)
elementárnych
častíc znamená
“skladať sa” čosi iné
ako sme zvyknutí.**

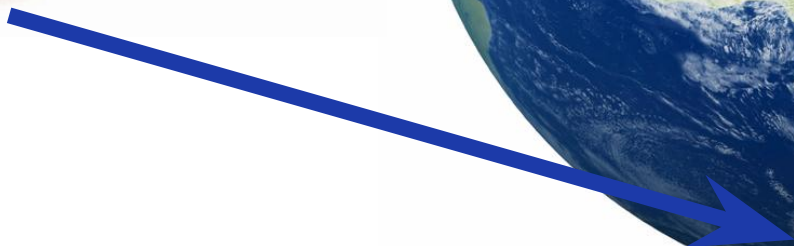
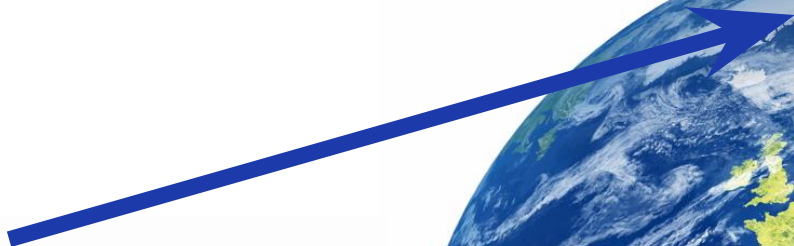
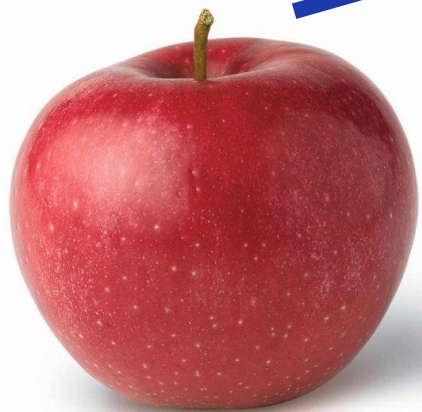
**Aké veľké sú
atómy?**

Atóm má veľkosť asi 10^{-10} m.

To je veľmi málo.







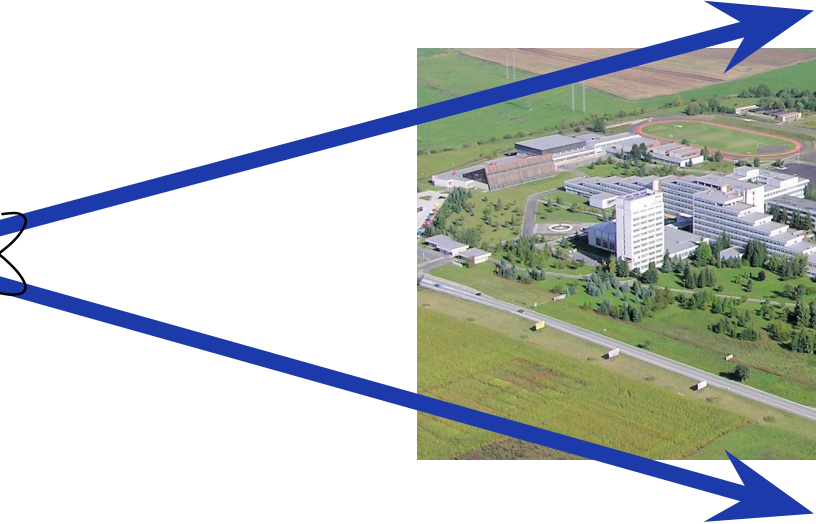
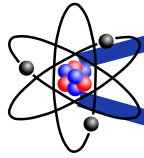
Atóm má veľkosť asi 10^{-10} m.

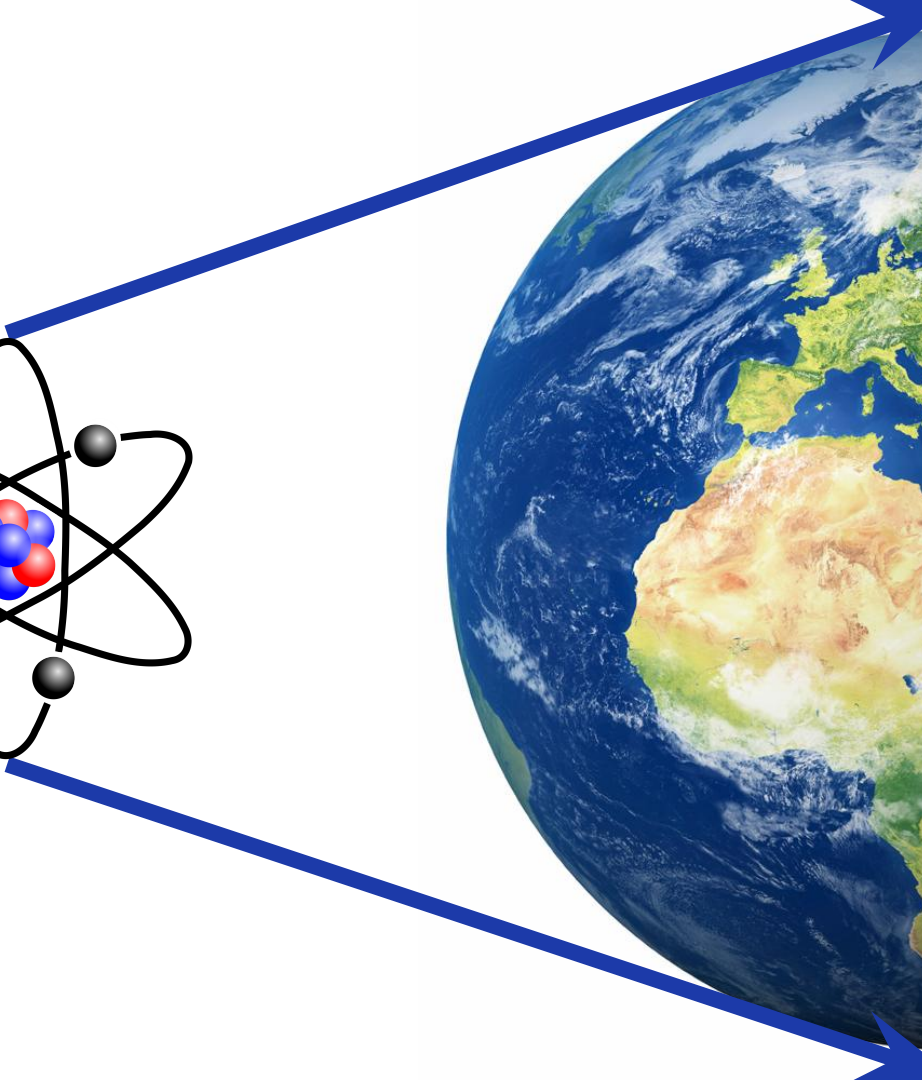
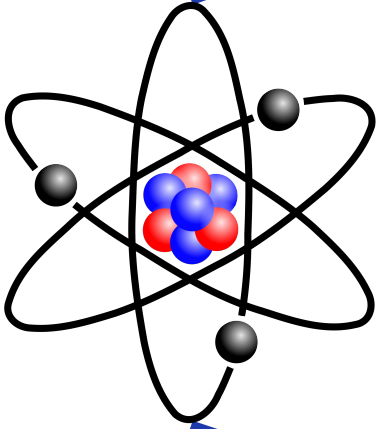
To je veľmi málo.

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** $10^{35} L_P$.

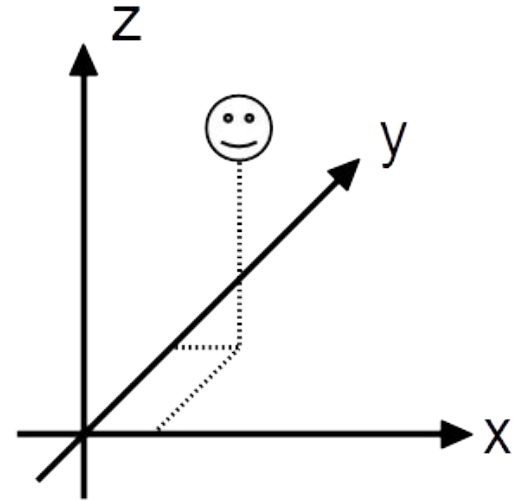
**Prirodzené
jednotky prírody sú
na míle vzdialené
nášmu svetu.**

**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.

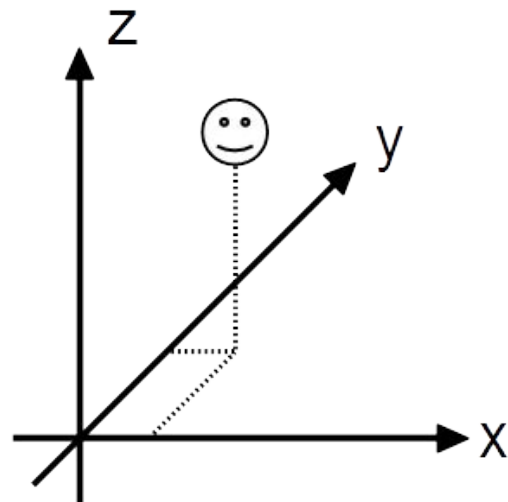


Priestor priestor je javisko,
na ktorom sa deje fyzika.

V mechanike $x(t), y(t), z(t)$.

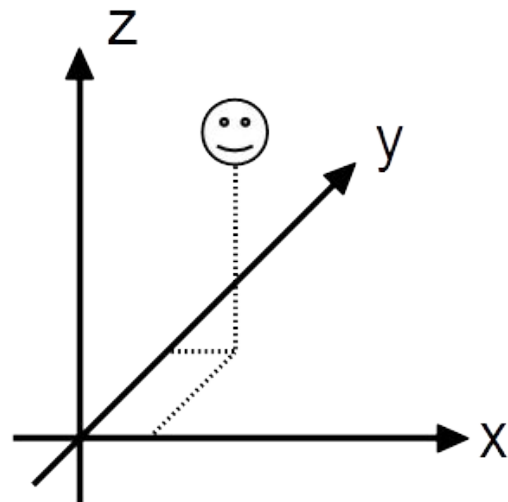
V elektromagnetizme

$$E_{x,y,z}(x,y,z,t), B_{x,y,z}(x,y,z,t).$$



Priestor priestor je javisko,
na ktorom sa deje fyzika.

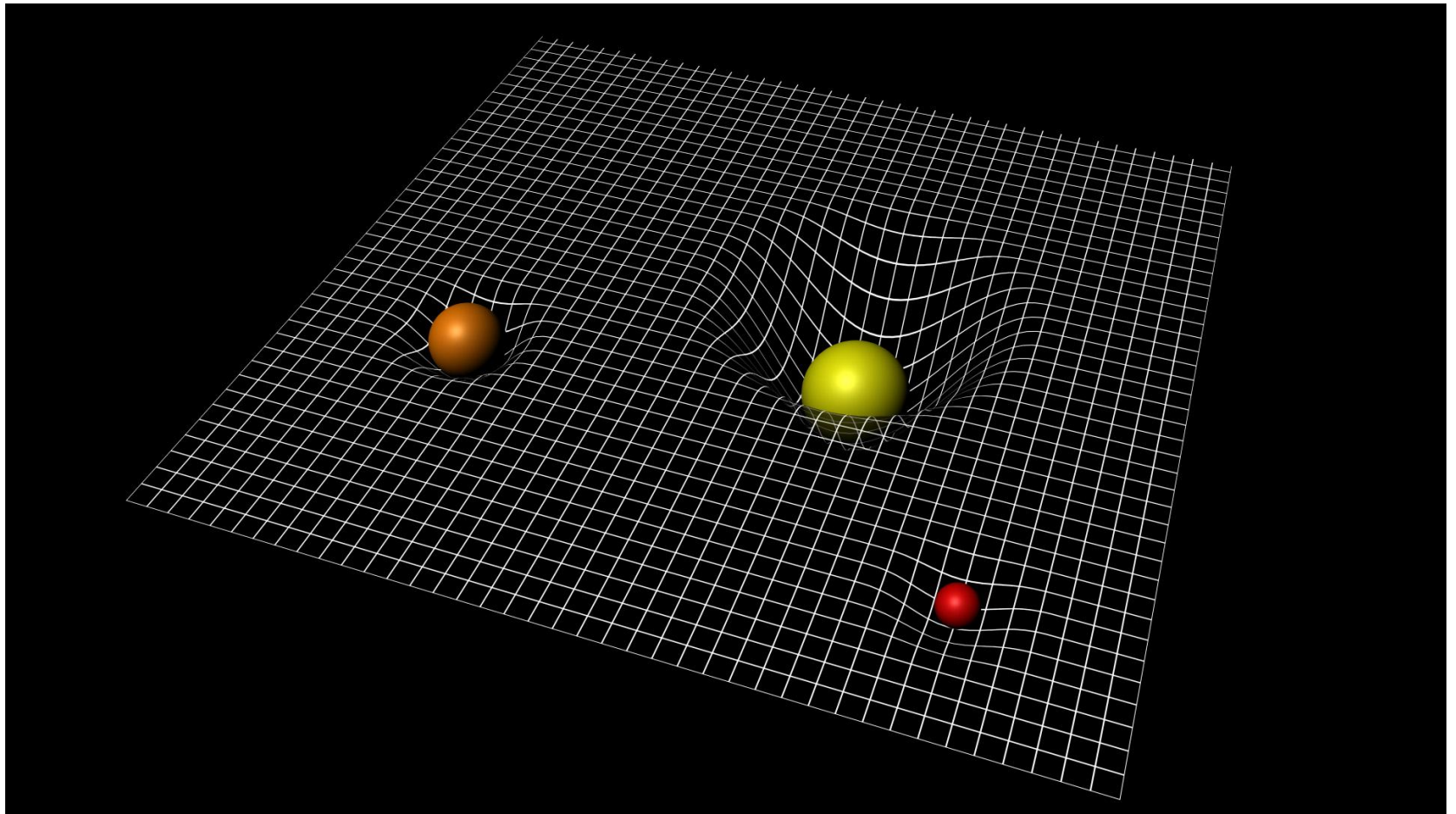
Ako sa môže z niečoho
skladať?



**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



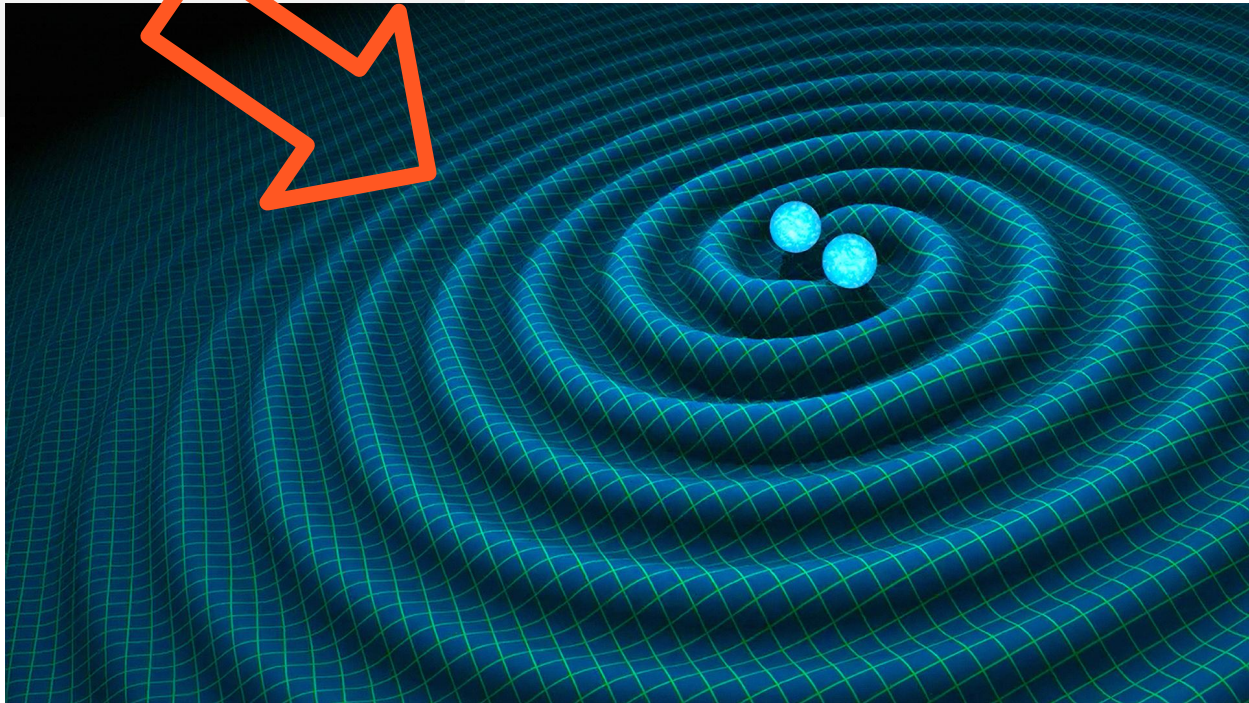
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$



priestor

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

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

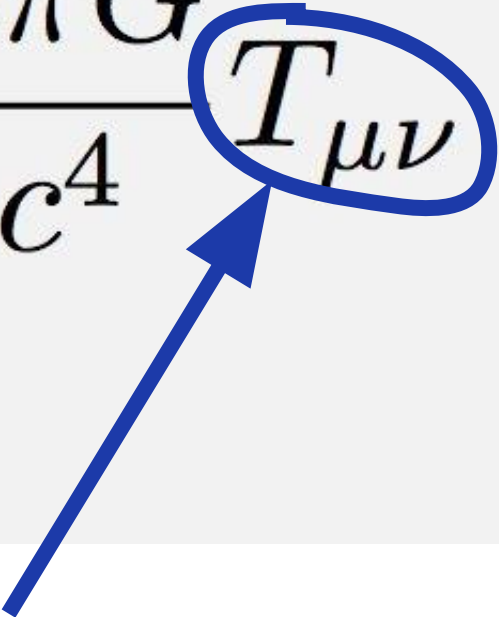


Kvantová gravitácia

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

hmota



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


popísaná kvantovou teóriou

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



priestor



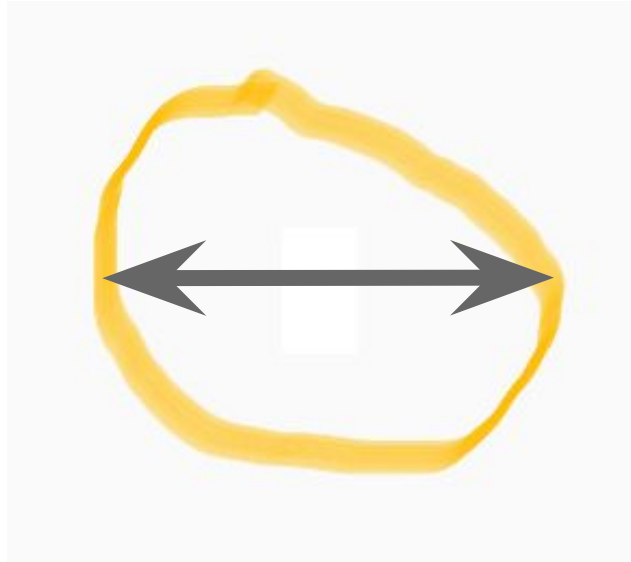
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

analýza

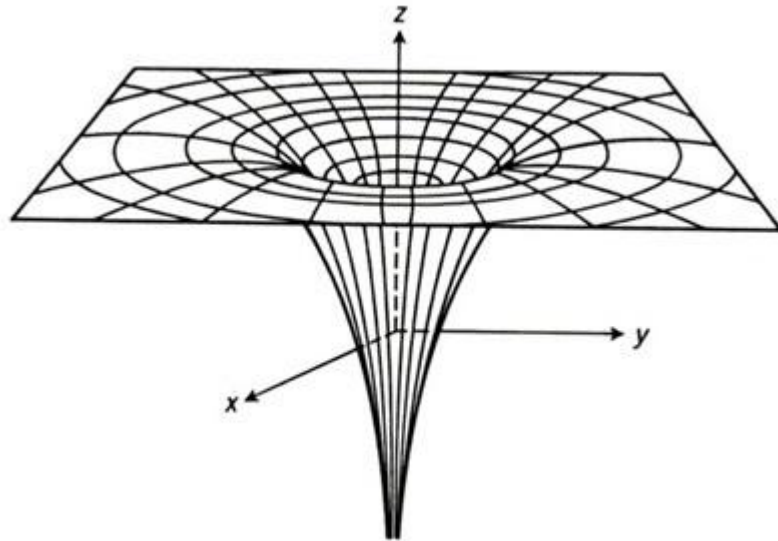
algebra

Malé častice a čierne diery

\hbar - čím menšia častica, tým väčšia energia



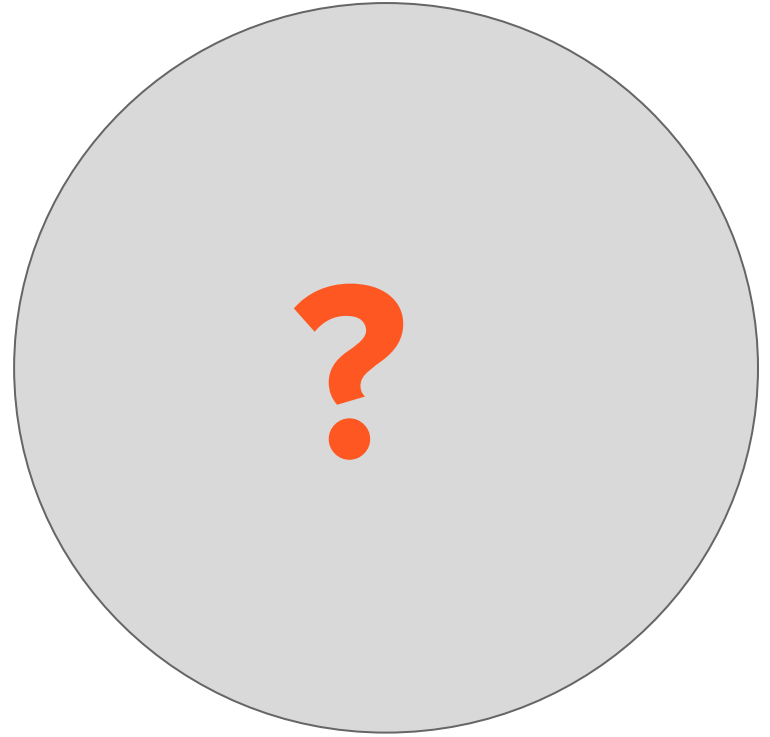
G - priveľa energie na jednom mieste
vytvorí čiernu dieru

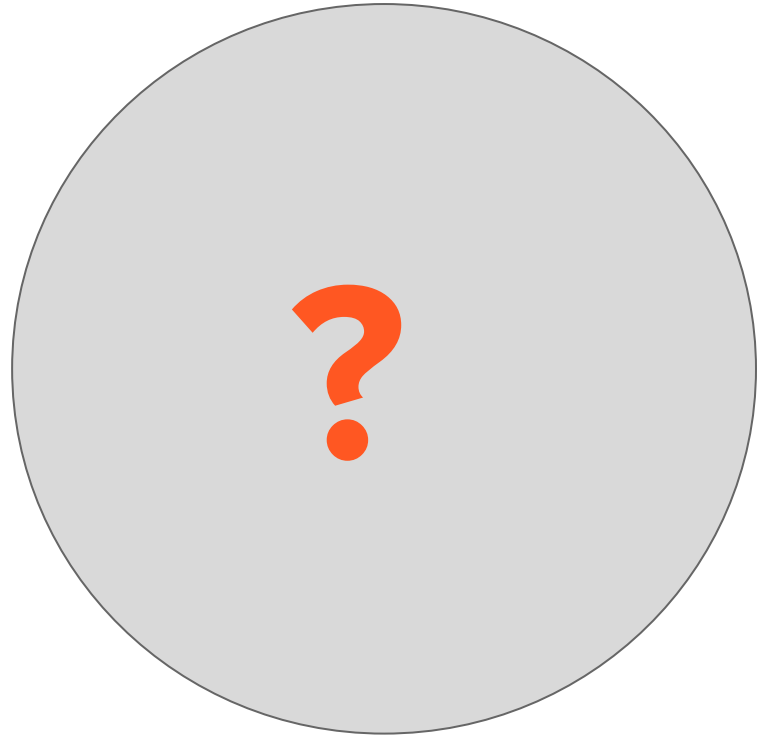
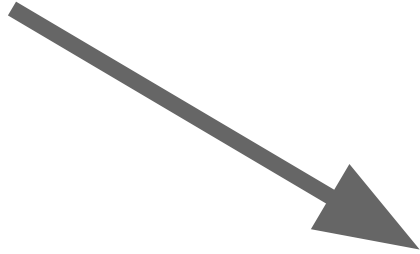


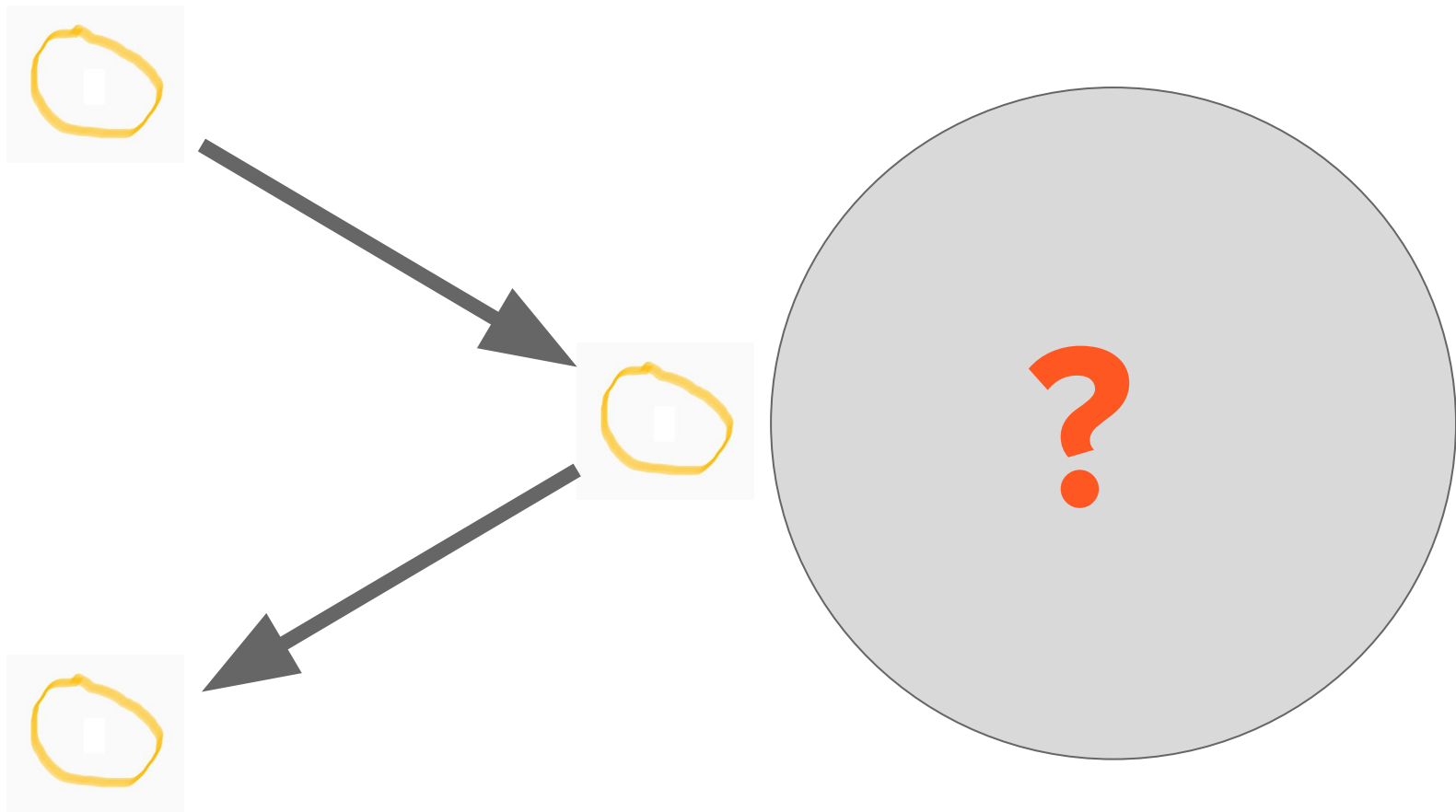
\hbar - čím menšia častica, tým väčšia energia

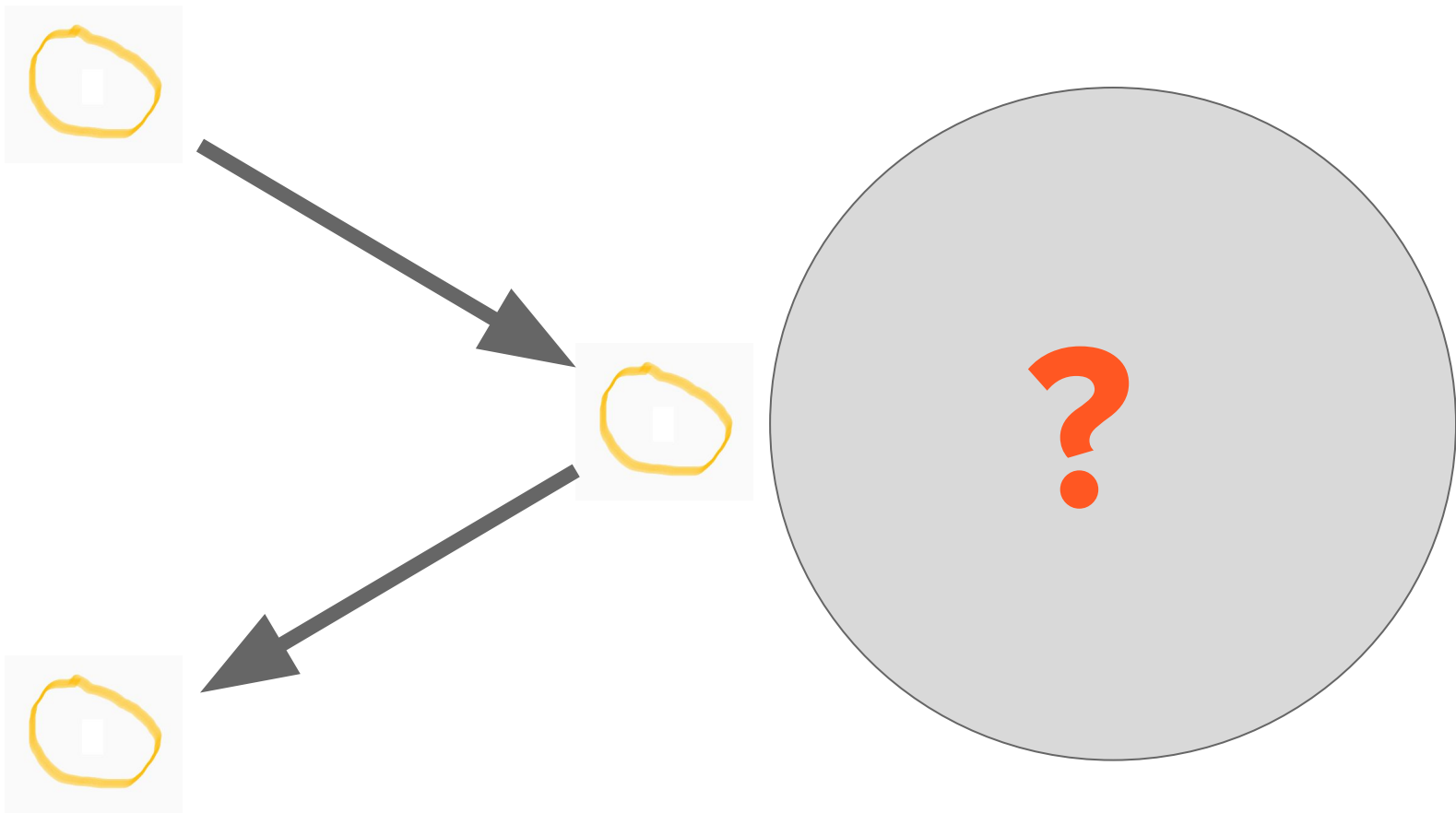
G - priveľa energie na jednom mieste
vytvorí čiernu dieru

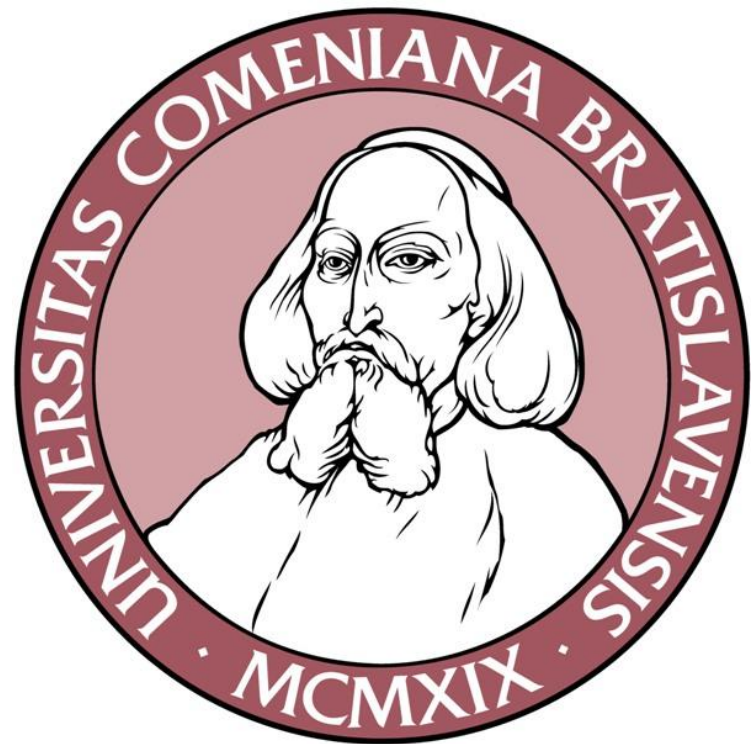
$\hbar+G$ - veľmi lokalizované častice okolo
seba tvoria čierne diery

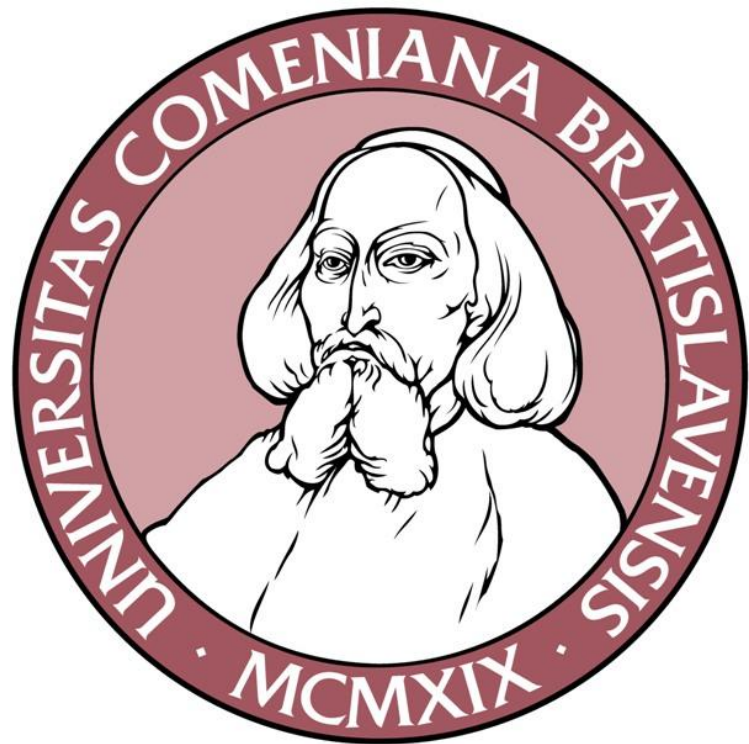
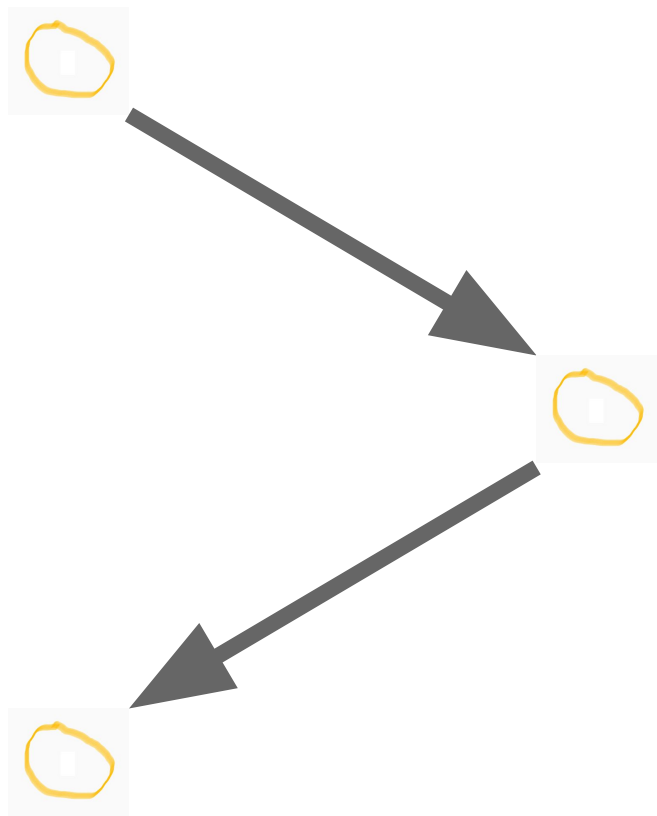






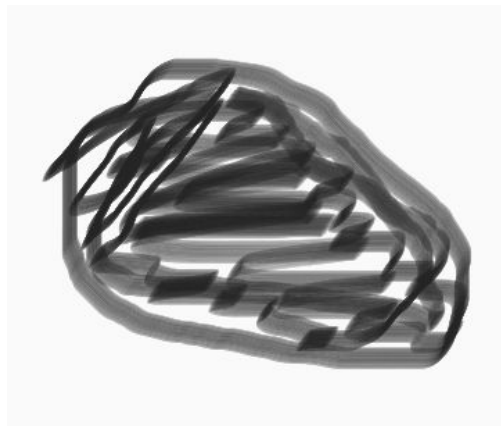














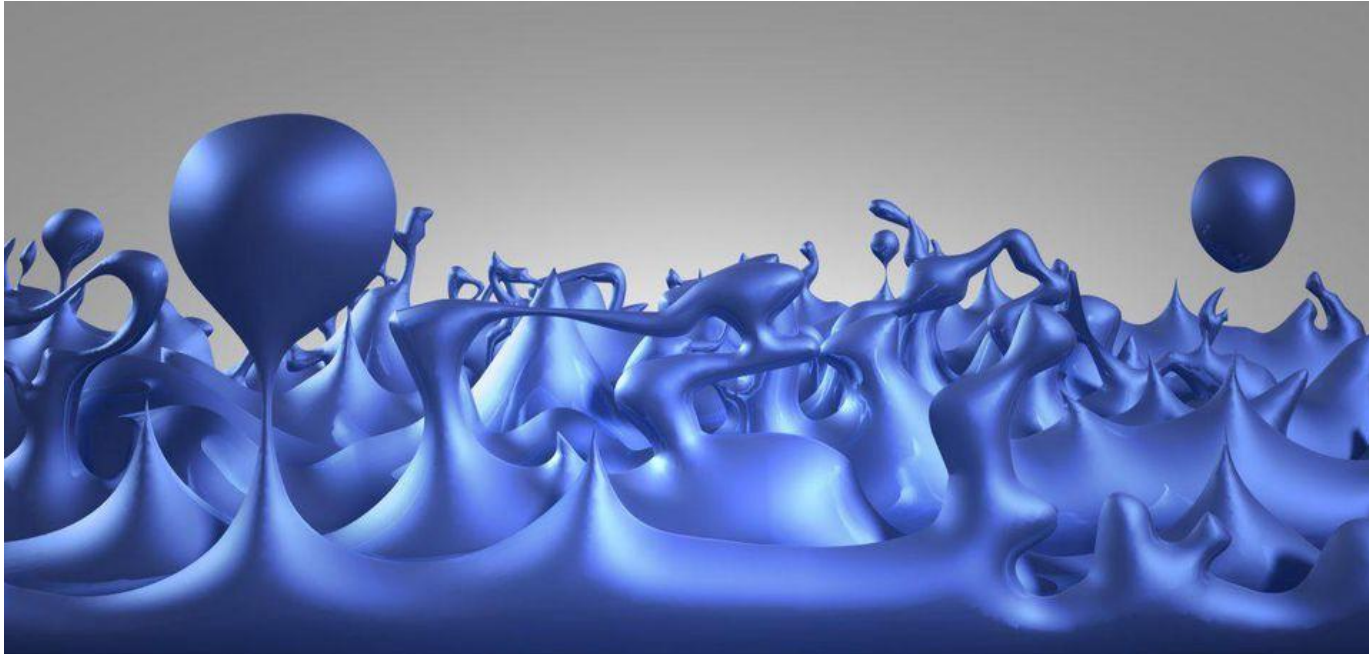


L_p

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.**

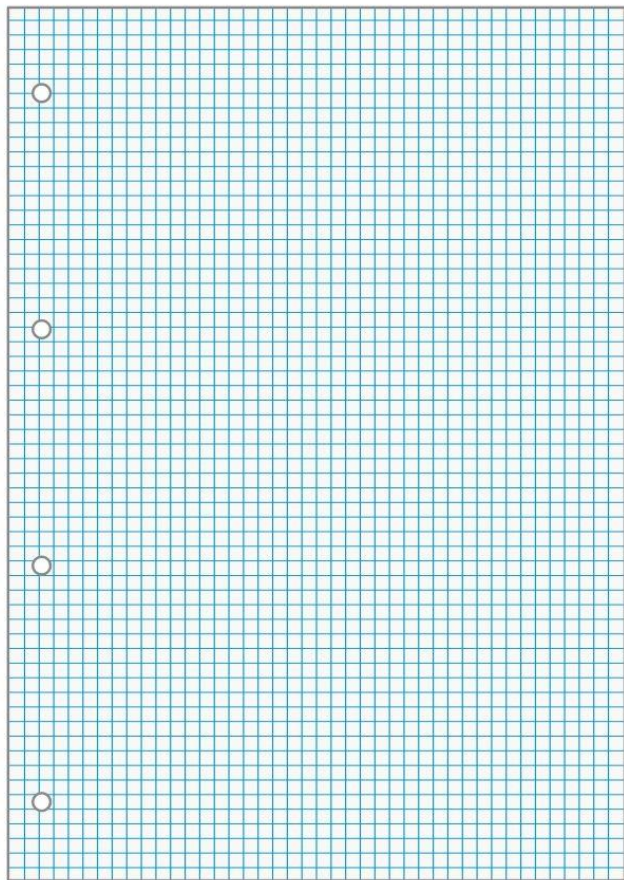
Riešenie

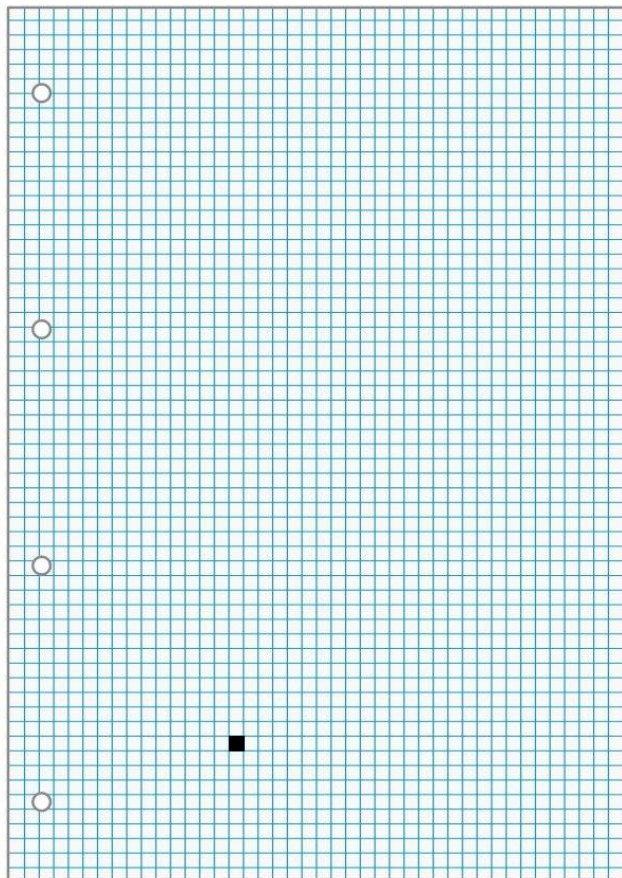
V priestore sa nedá vytvoriť ľubovoľne malý objekt.

Na vzdialenostiach L_p sa priestor skladá z kúskov.

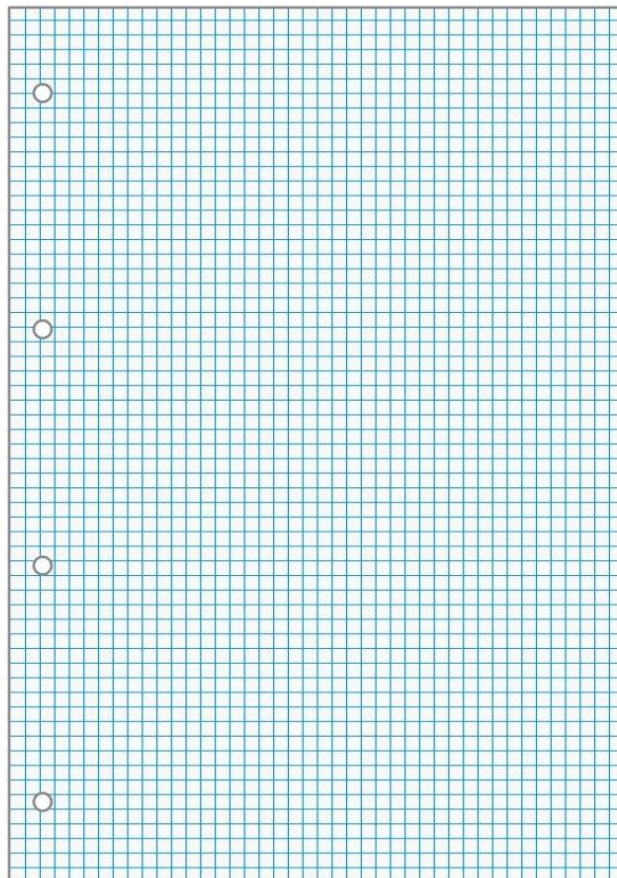
**Môže sa priestor z
niečoho skladať?**

**Štvorčekovaný
papier**



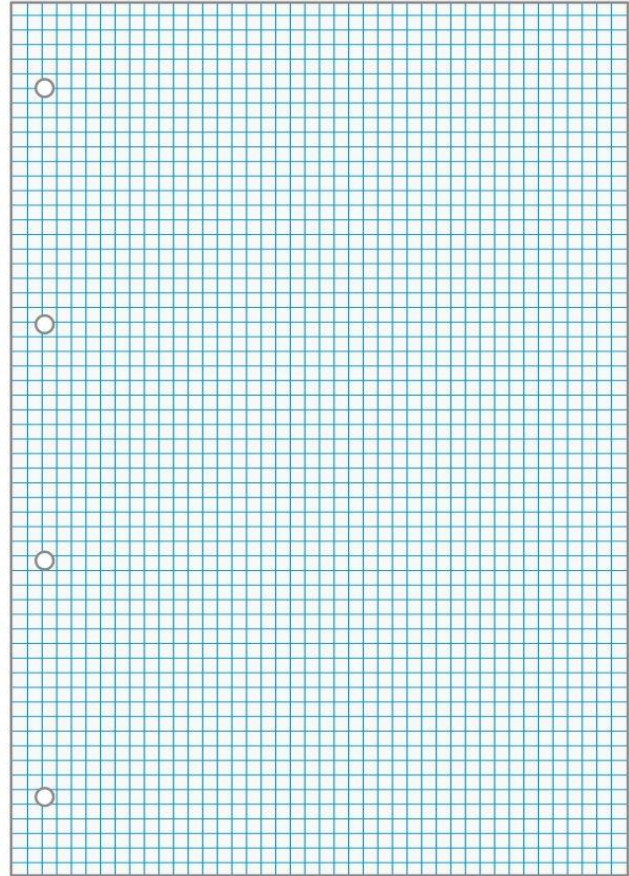


Takýto priestor má
oveľa **menšiu**
symetriu.

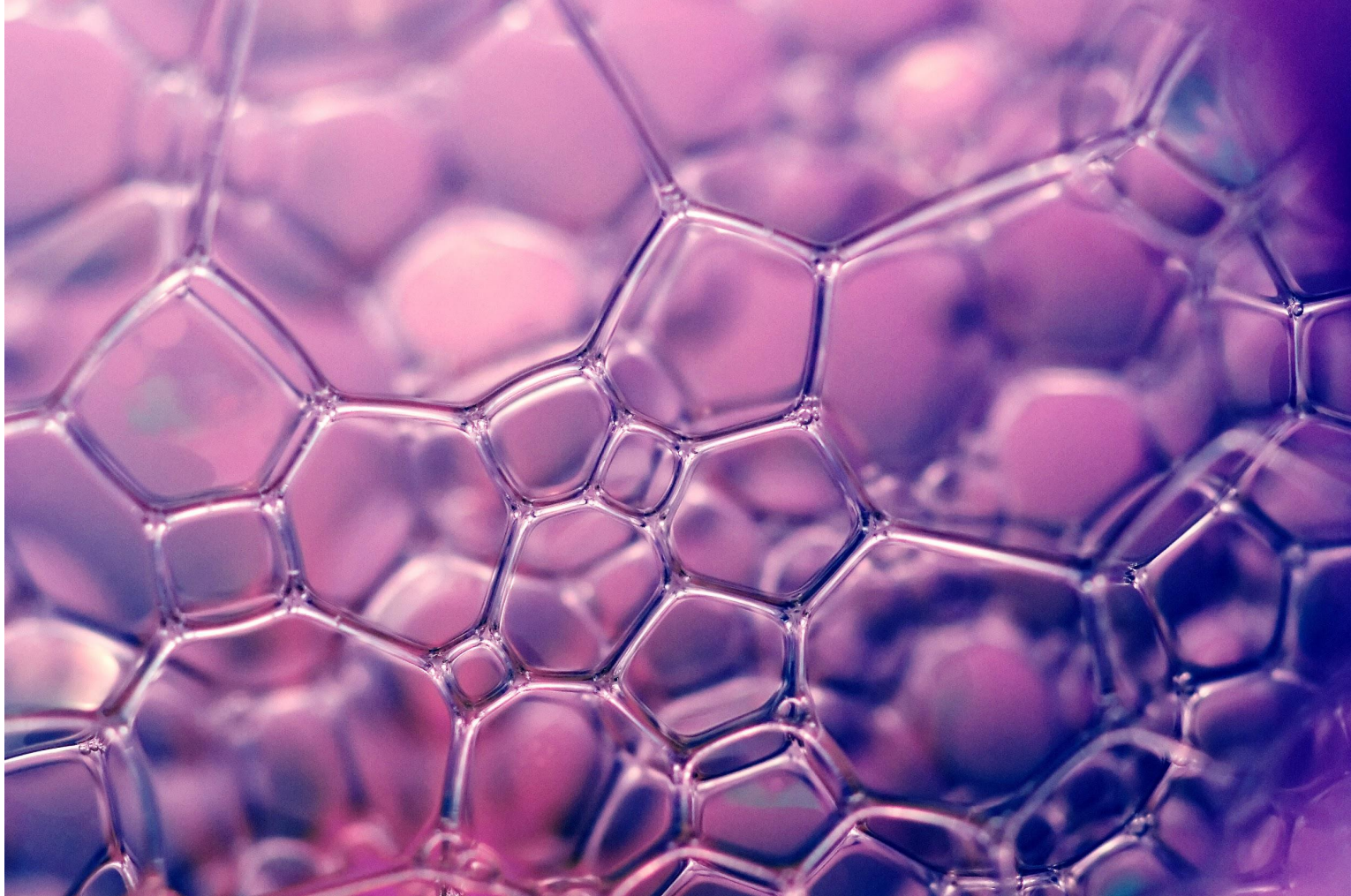


Takýto priestor má
oveľa **menšiu**
symetriu.

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



**Bublínkový
priestor**



obr.: Umberto Salvagnin, CC BY 2.0

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

Hovorí sa tomu **nekomutatívny priestor**.

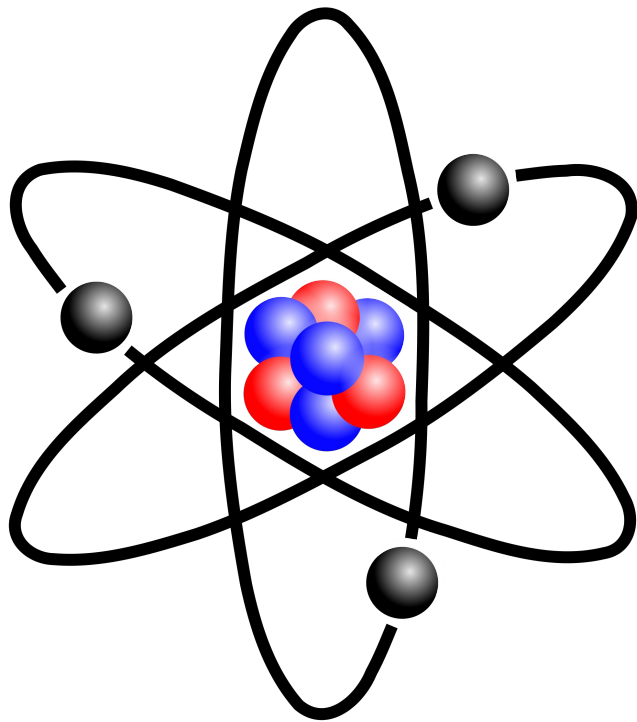
Idea podobná ako v kvantovej mechanike.

Princíp neurčitosti

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar / 2$$

Ak stlačíme v smere **x**, rozťahujeme v smere **p**.

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



Priestorový princíp neurčitosti

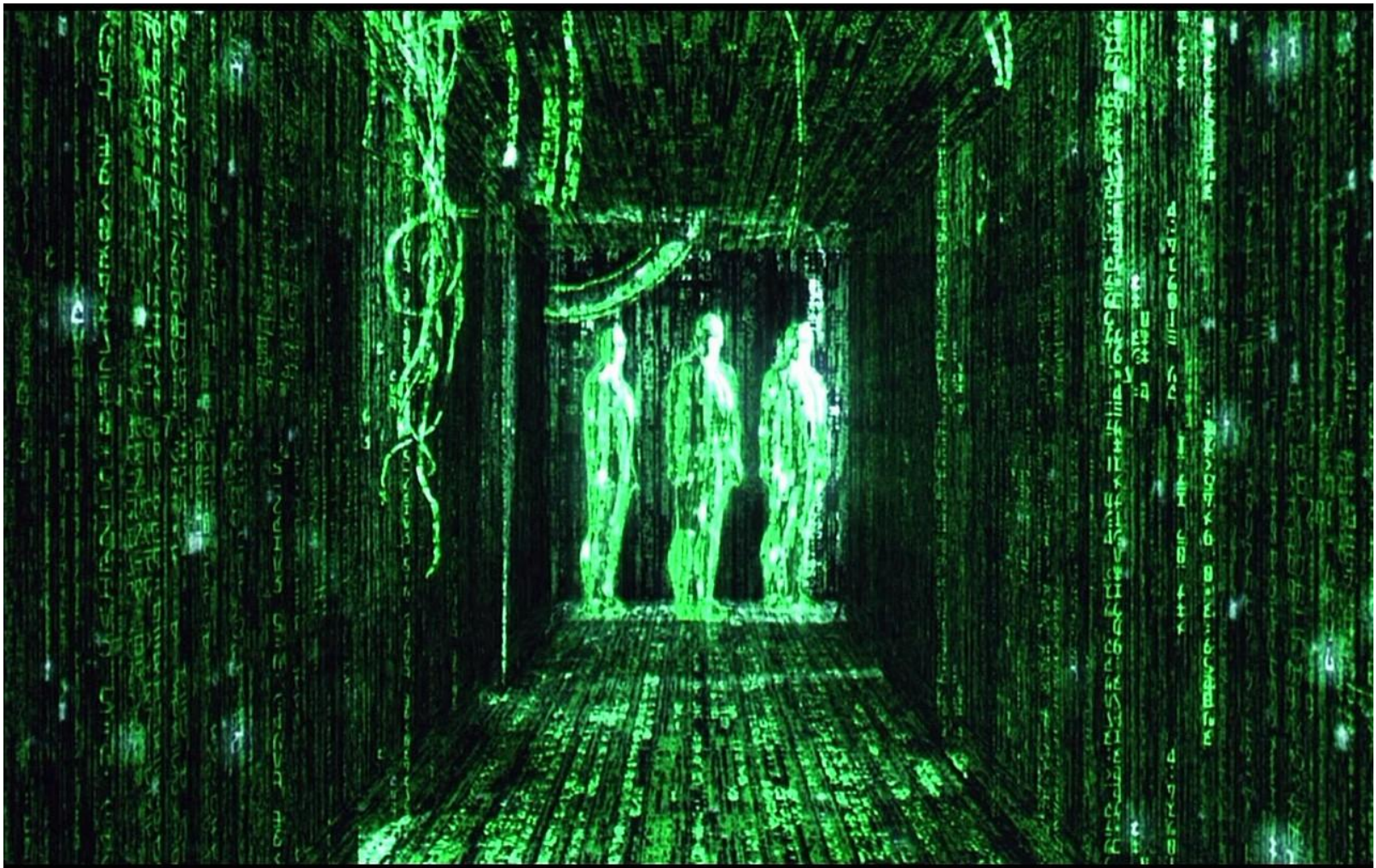
$$\Delta x \cdot \Delta y \geq \hbar / 2$$

Toto by zachránilo **stability priestoru**.

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**.

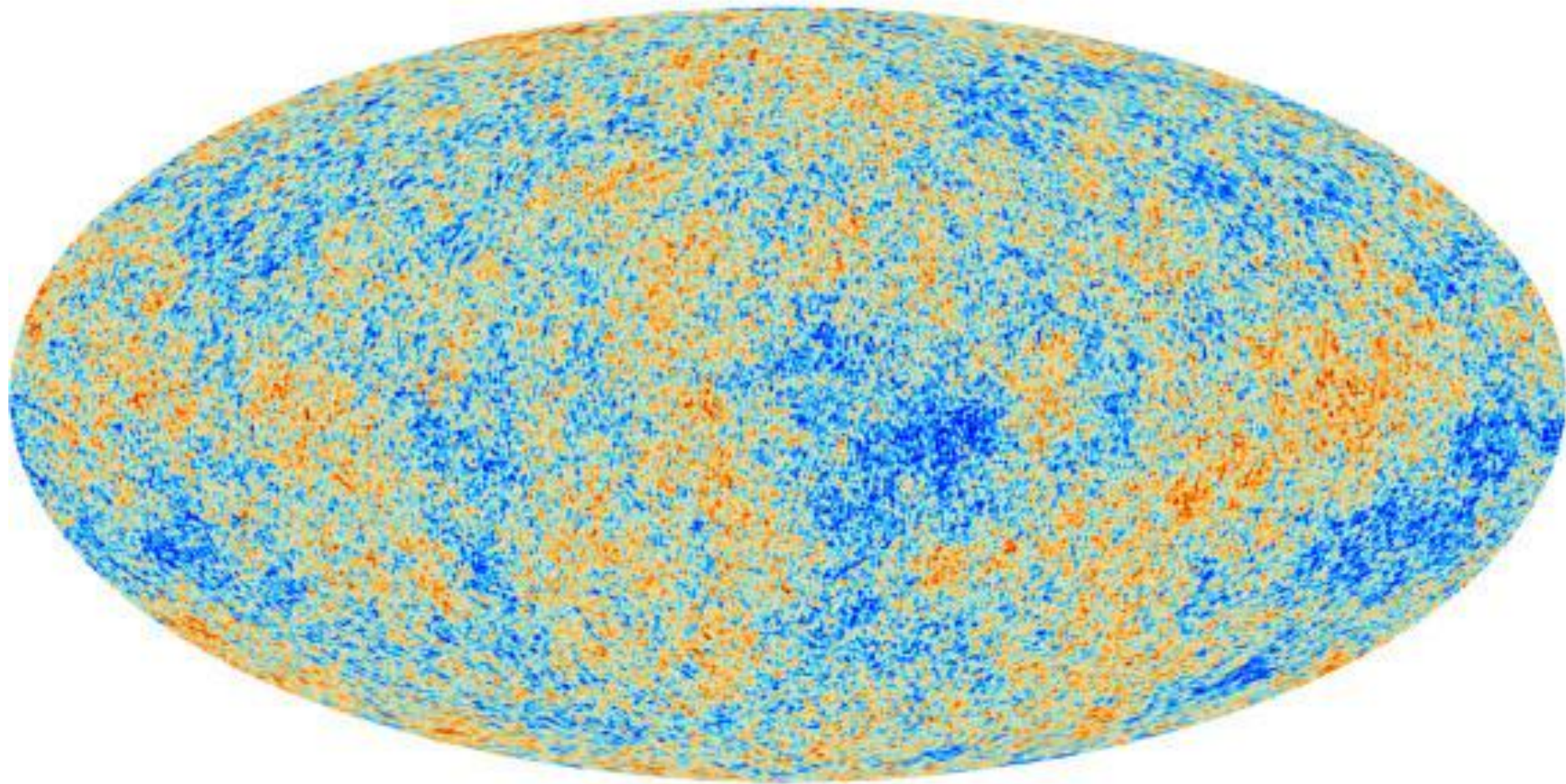
To iné sú **D0-brány**.

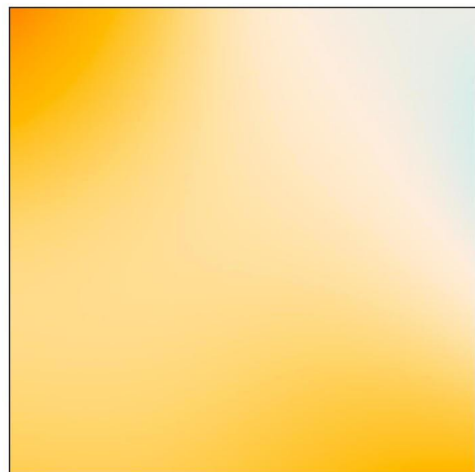
**Dá sa štruktúra
priestoru
uvidieť?**

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

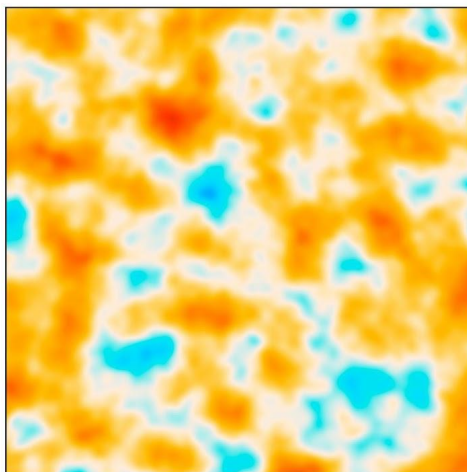
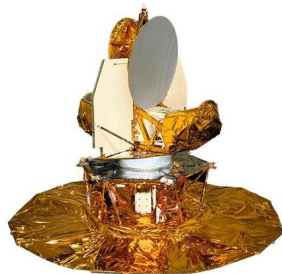
Priamo **nie**. (V horizonte 100 rokov.)

Nepriamo **áno**. (Dôsledky.)

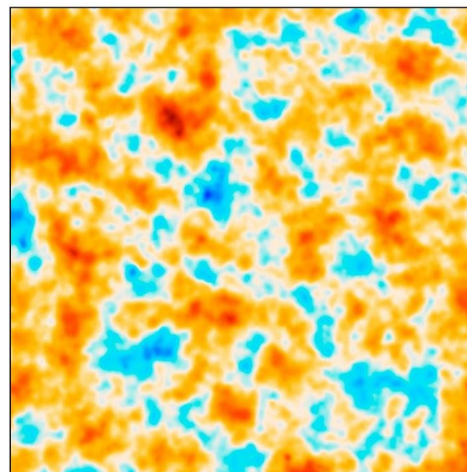
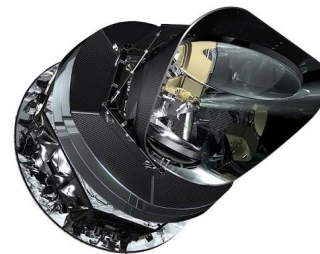




COBE



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
kľúčovým krokom v
cestě za teóriou
kvantovej gravitácie.**

**Ďakujem za
pozornosť!**