

Z čoho sa skladá priestor?

Juro Tekel, KTF FMFI UK
27.3.2019, ProgressBar, Bratislava

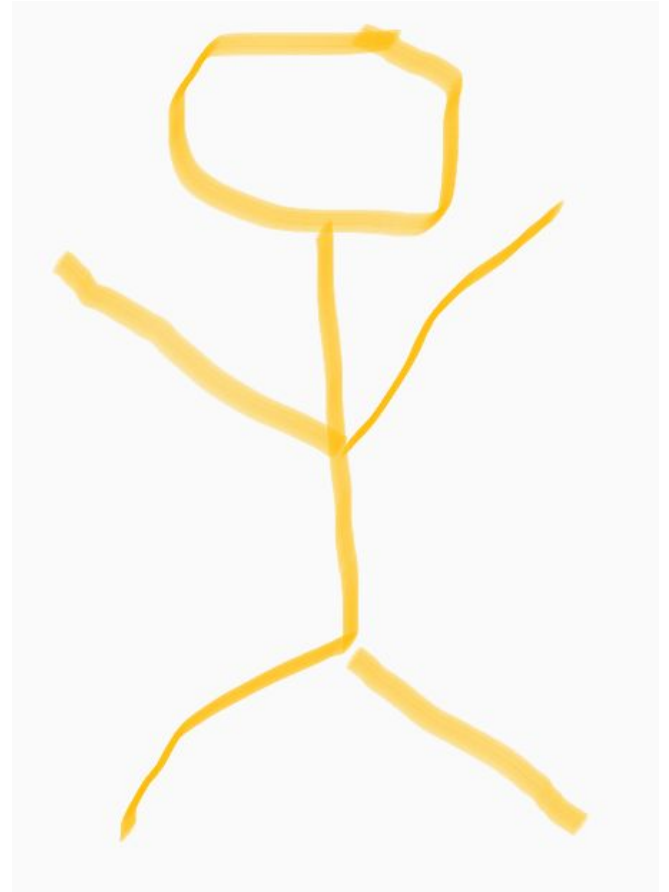
**Spojenie kvantovej
mechaniky a teórie
gravitácie predpovedá
štruktúru priestoru.**

**Z čoho sa skladá
priestor?**

**Čo to znamená
“skladat” sa z
niečoho?**

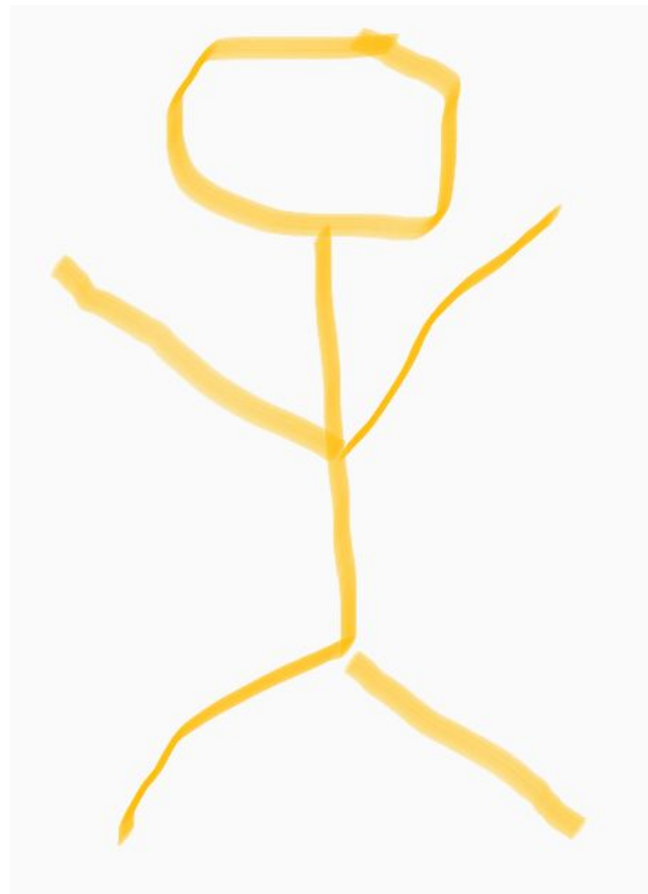
Človek?

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

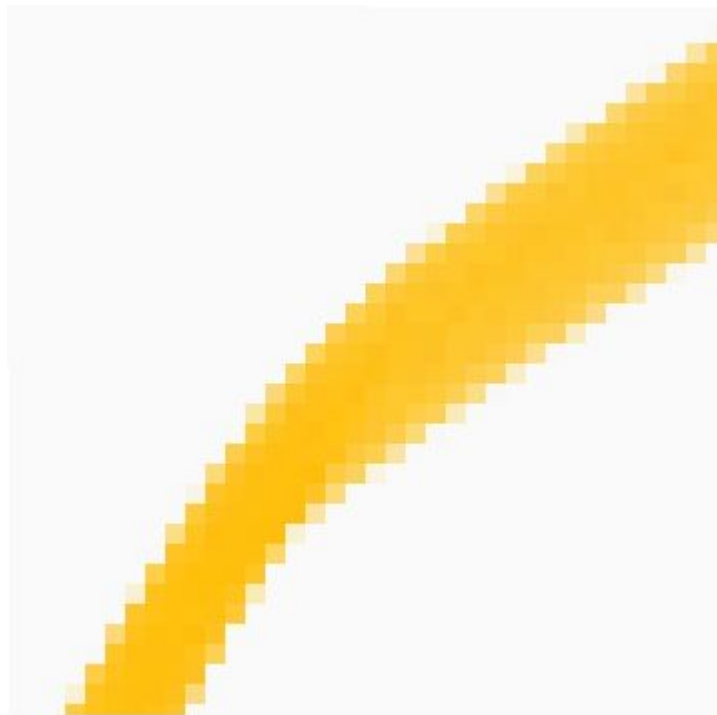


Obrázky?

Obrázok sa skladá z
pixelov.



Obrázok sa skladá z
pixelov.



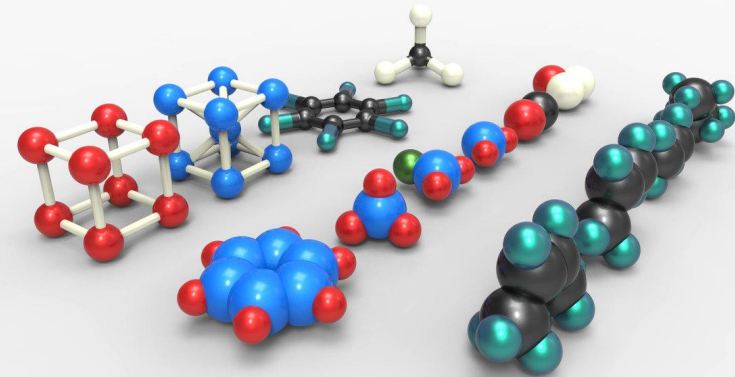
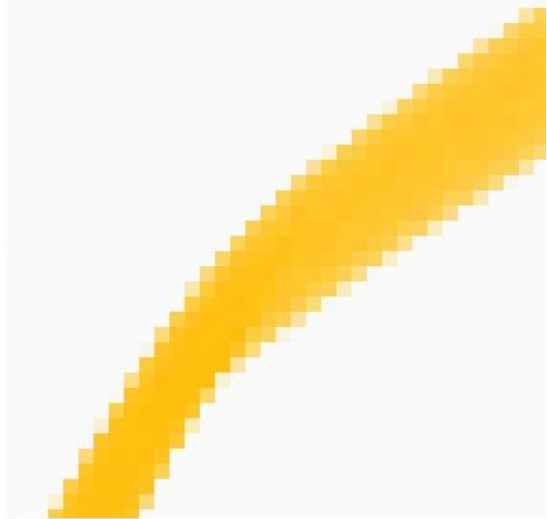
Všetko?

Všetko sa skladá z
atómov.

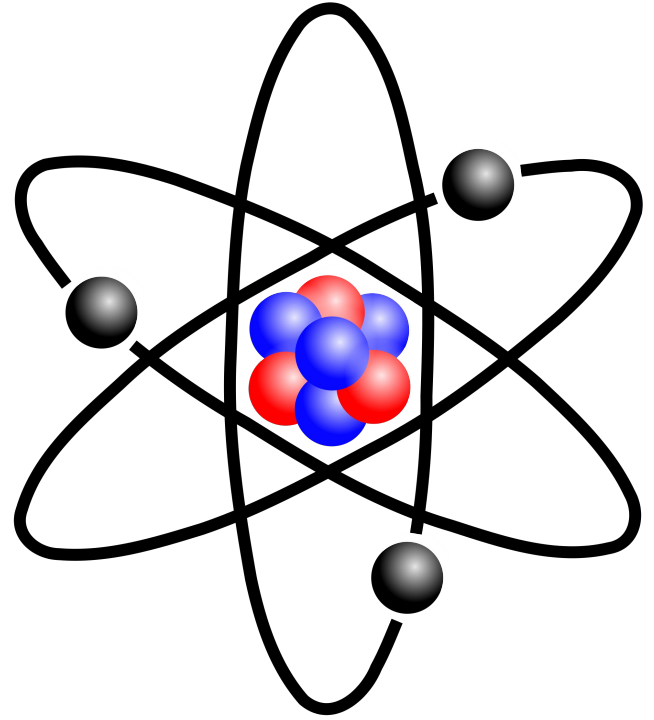


Všetko sa skladá z
atómov.

Podobne ako obrázok z pixelov

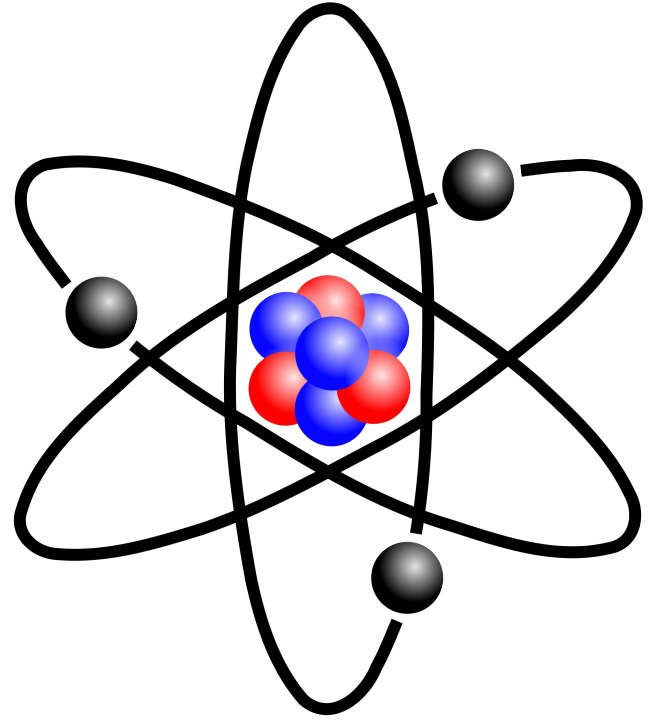


Atómy sa skladajú z
elektrónov, protónov a
neutrónov.

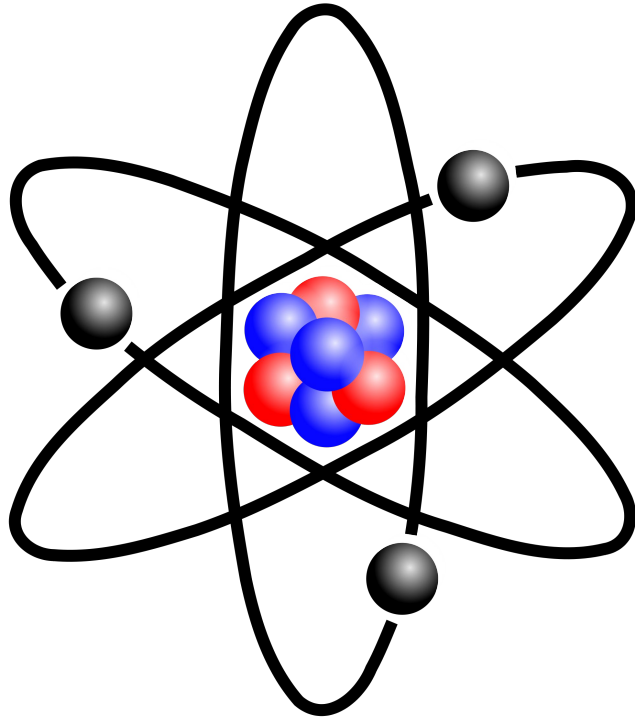


Atómy sa skladajú z
elektrónov, protónov a
neutrónov.

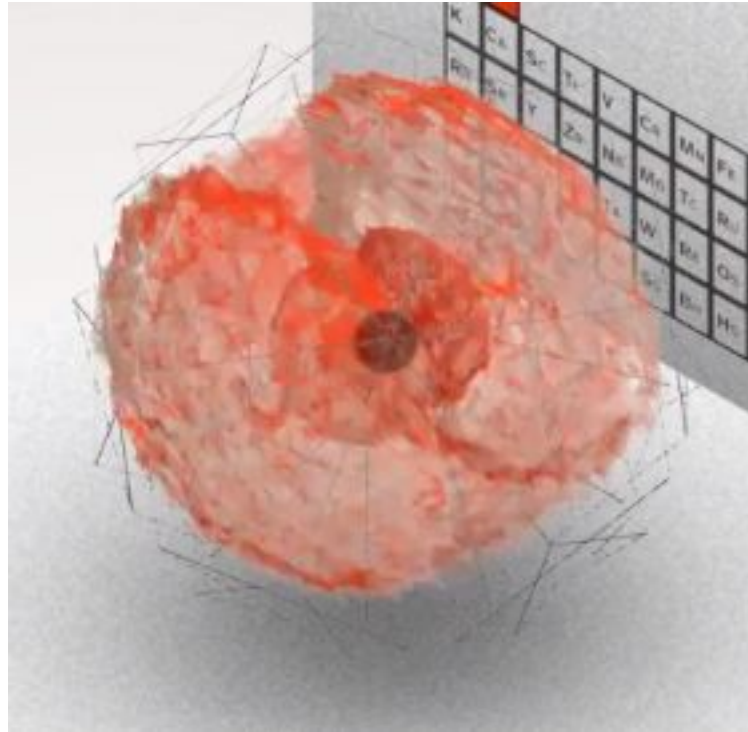
Inak, lebo to riadi
kvantová mechanika.



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. 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.

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

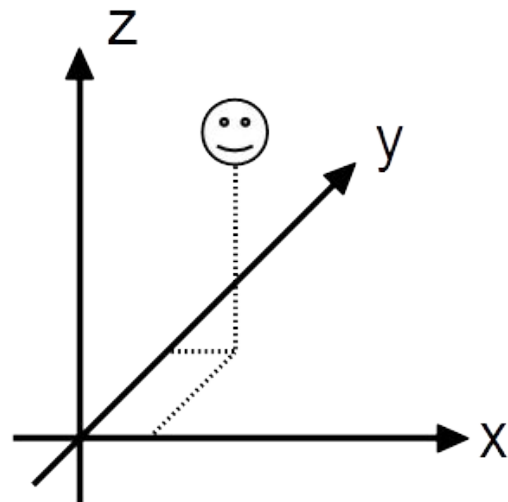
**Prirodzené
jednotky prírody sú
na míle vzdialené
nášmu svetu.**

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

Priestor?

Priestor priestor je javisko,
na ktorom sa deje fyzika.

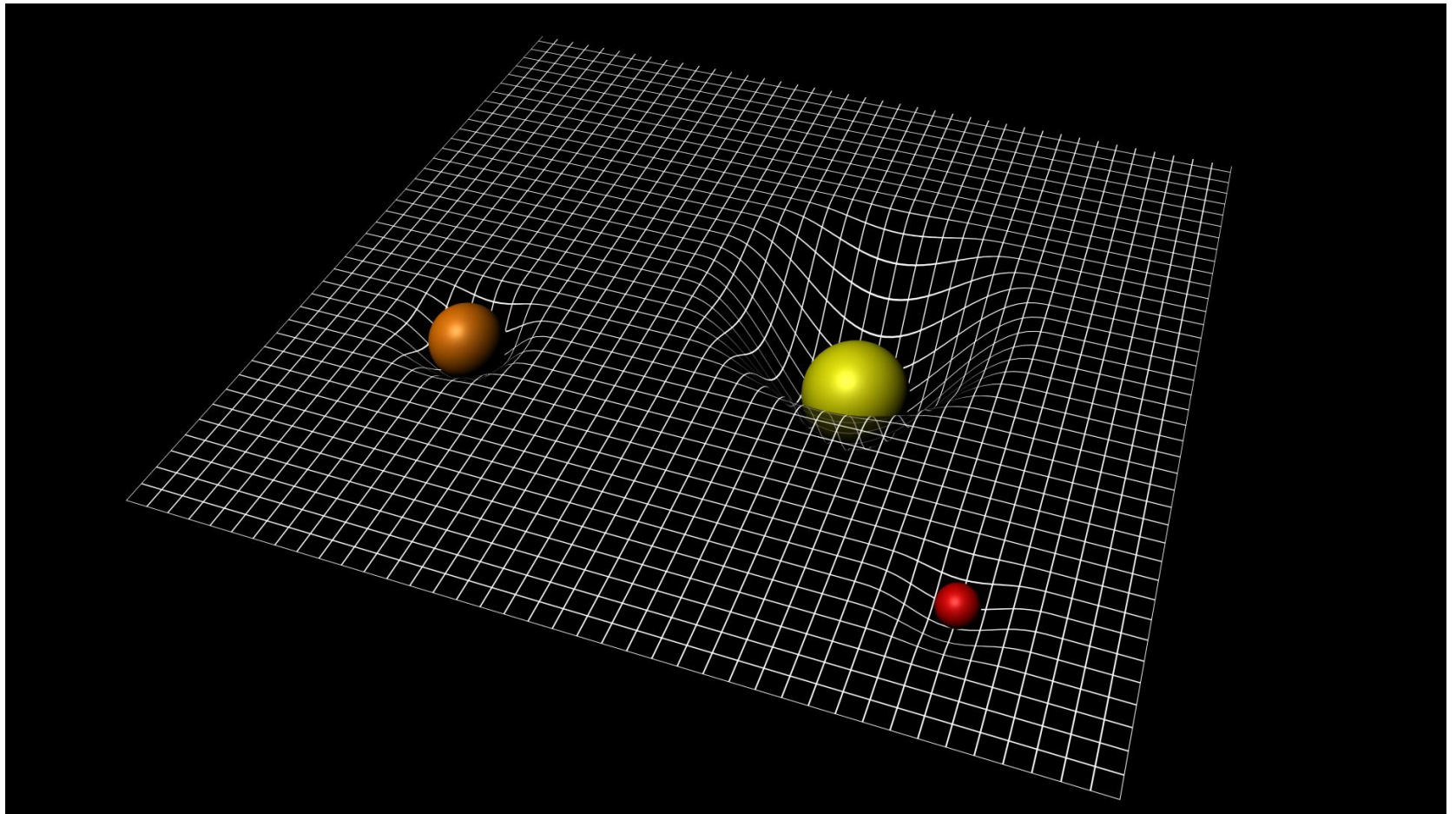
Ako sa môže z niečoho
skladať?



**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



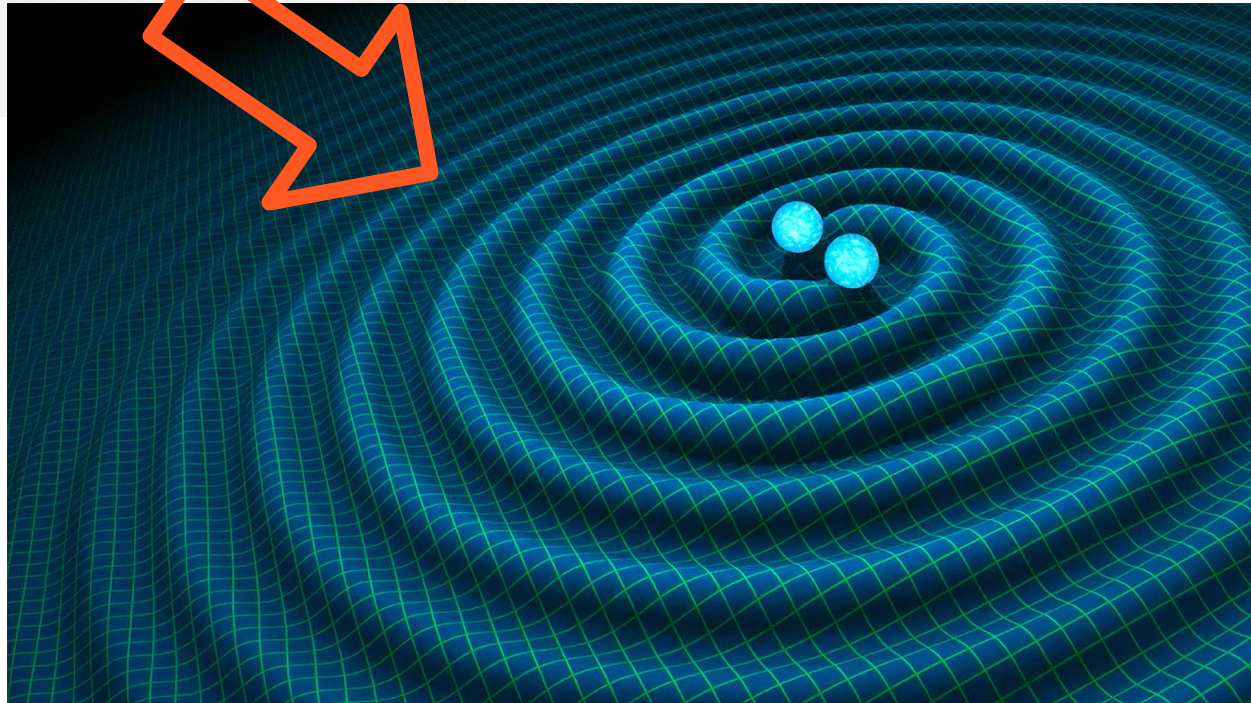
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$



priestor

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

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

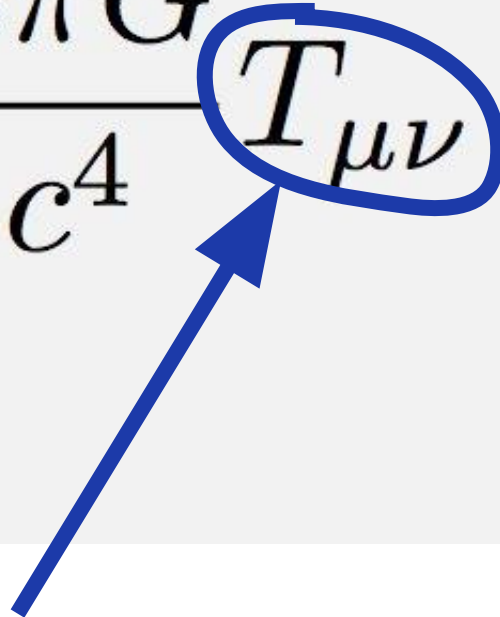


Kvantová gravitácia

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

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



Malé častice a čierne diery

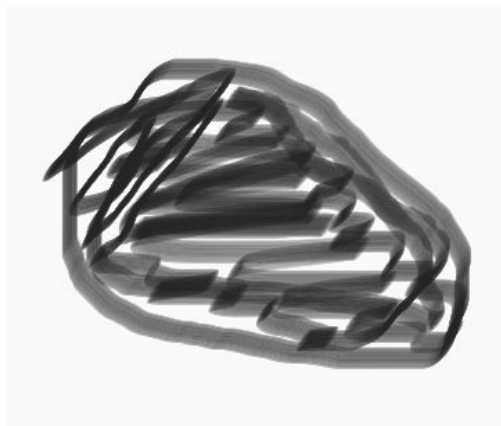
\hbar - čím menšia častica, tým väčšia energia

G - priveľa energie na jednom mieste
vytvorí čiernu dieru

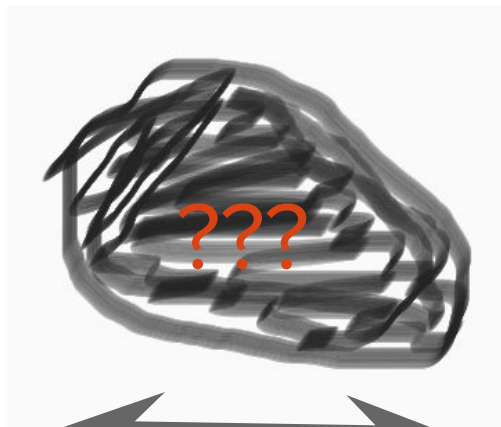
$\hbar+G$ - veľmi lokalizované častice okolo
seba tvoria čierne diery





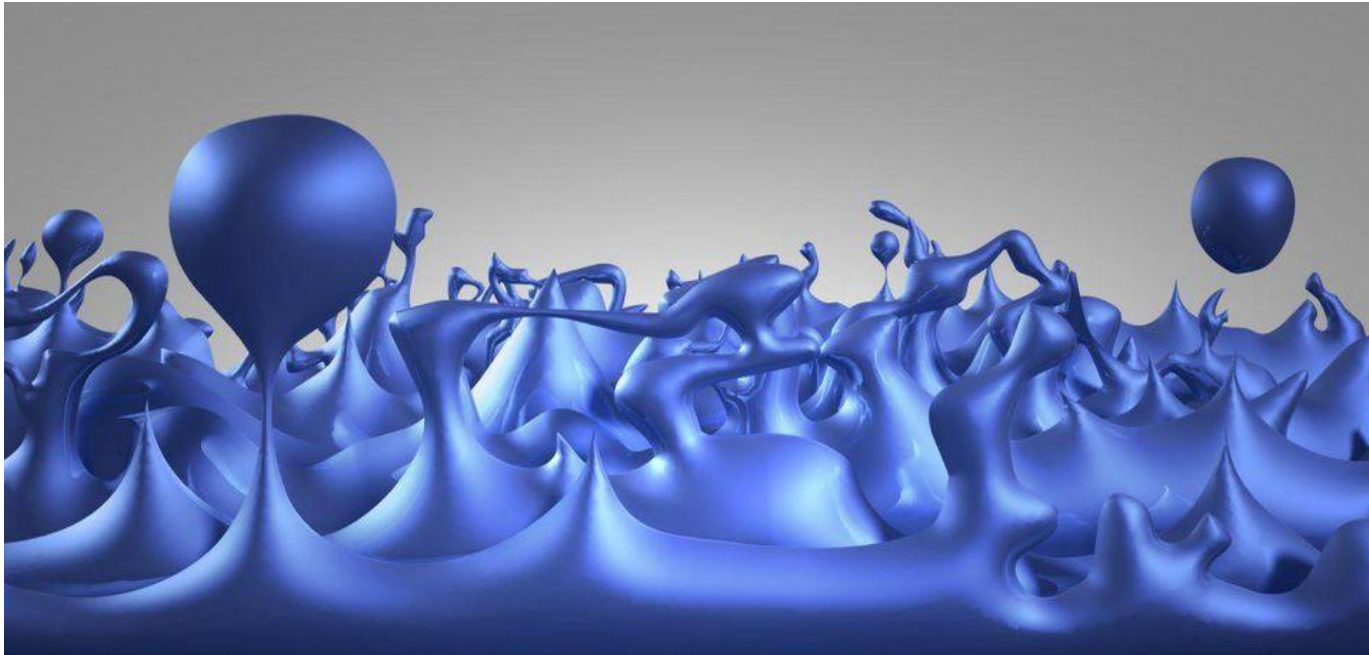






L_p

\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

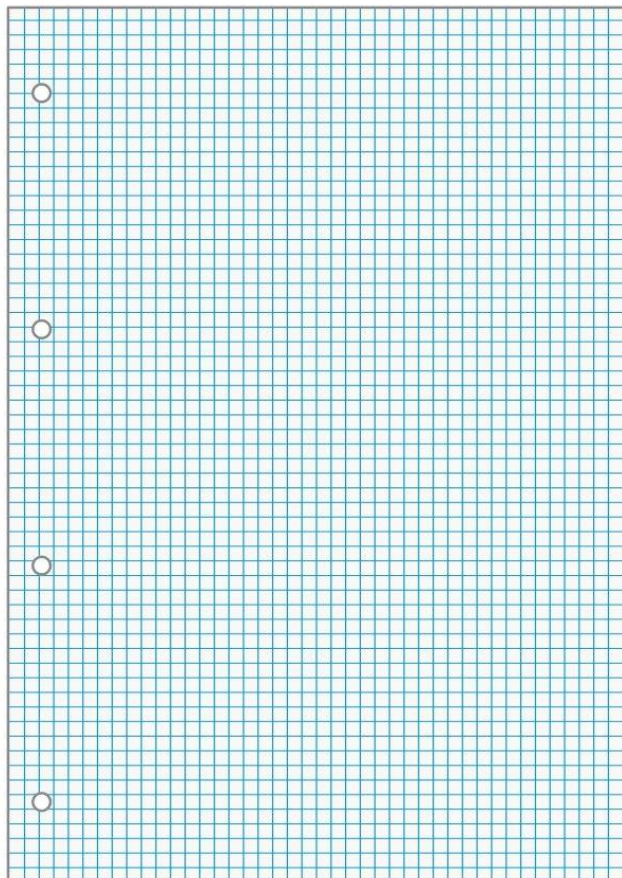
$\hbar+G$ - vákuum sa rozpadne na spústu
čiernych dier

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

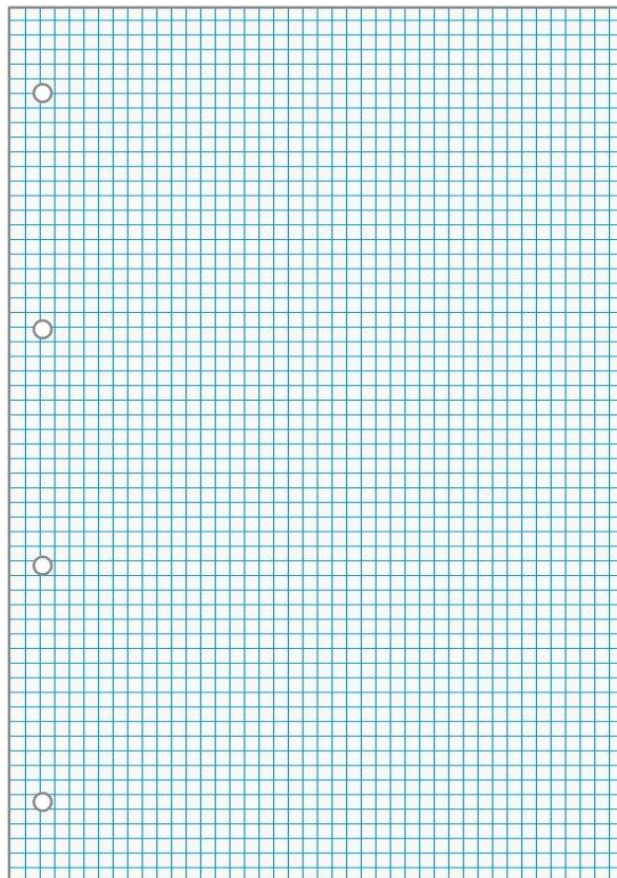
**Riešenie: nič také ako
veľmi lokalizované v
priestore neexistuje.**

**Riešenie: v priestore sa
nedá vytvoriť
ľubovoľne malý objekt.**

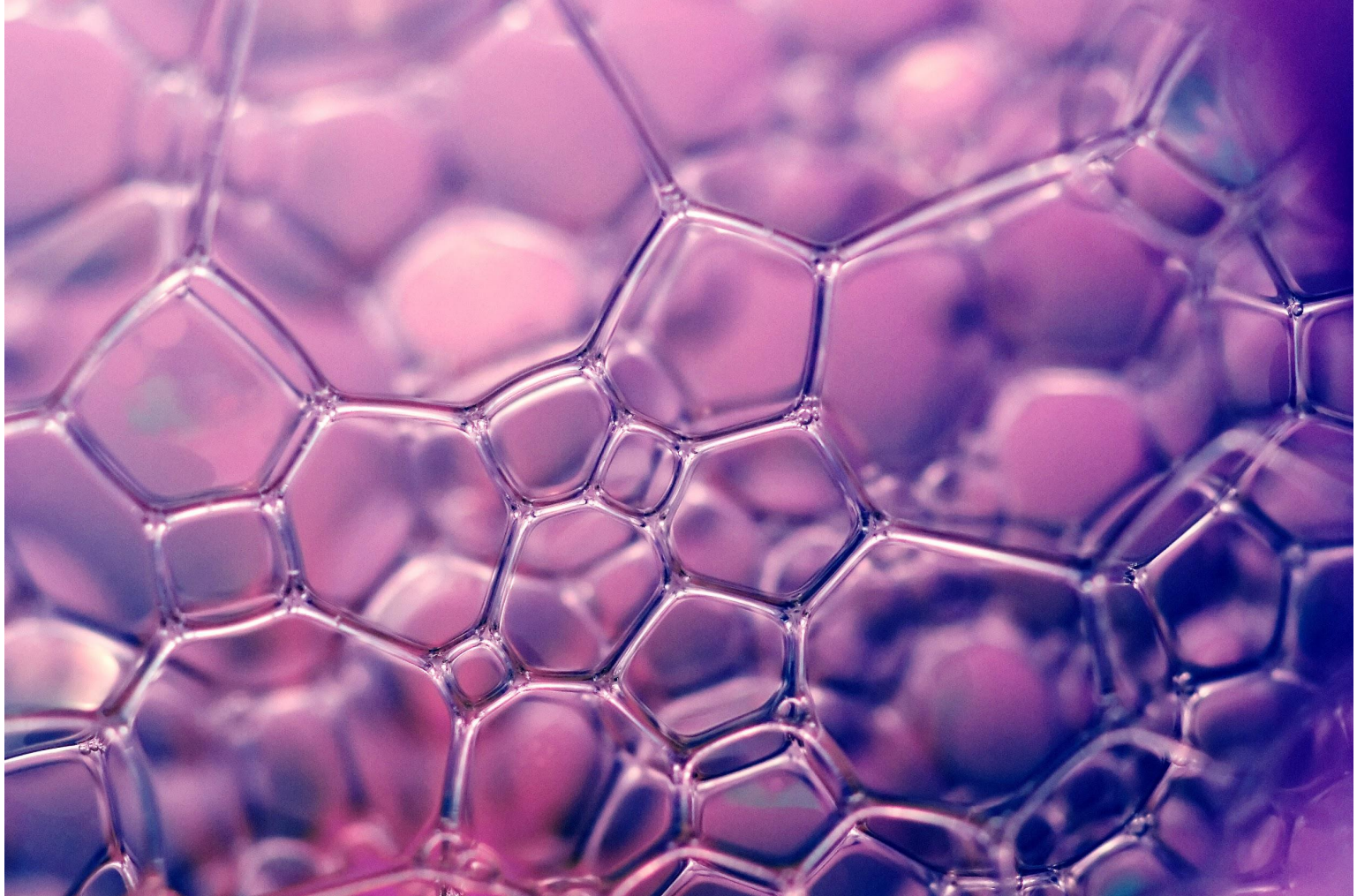
**Štvorčekovaný
papier**



Takýto priestor
priestor má oveľa
menšiu symetriu.



**Bublínkový
priestor**



Takýto priestor priestor má
úplnú symetriu.

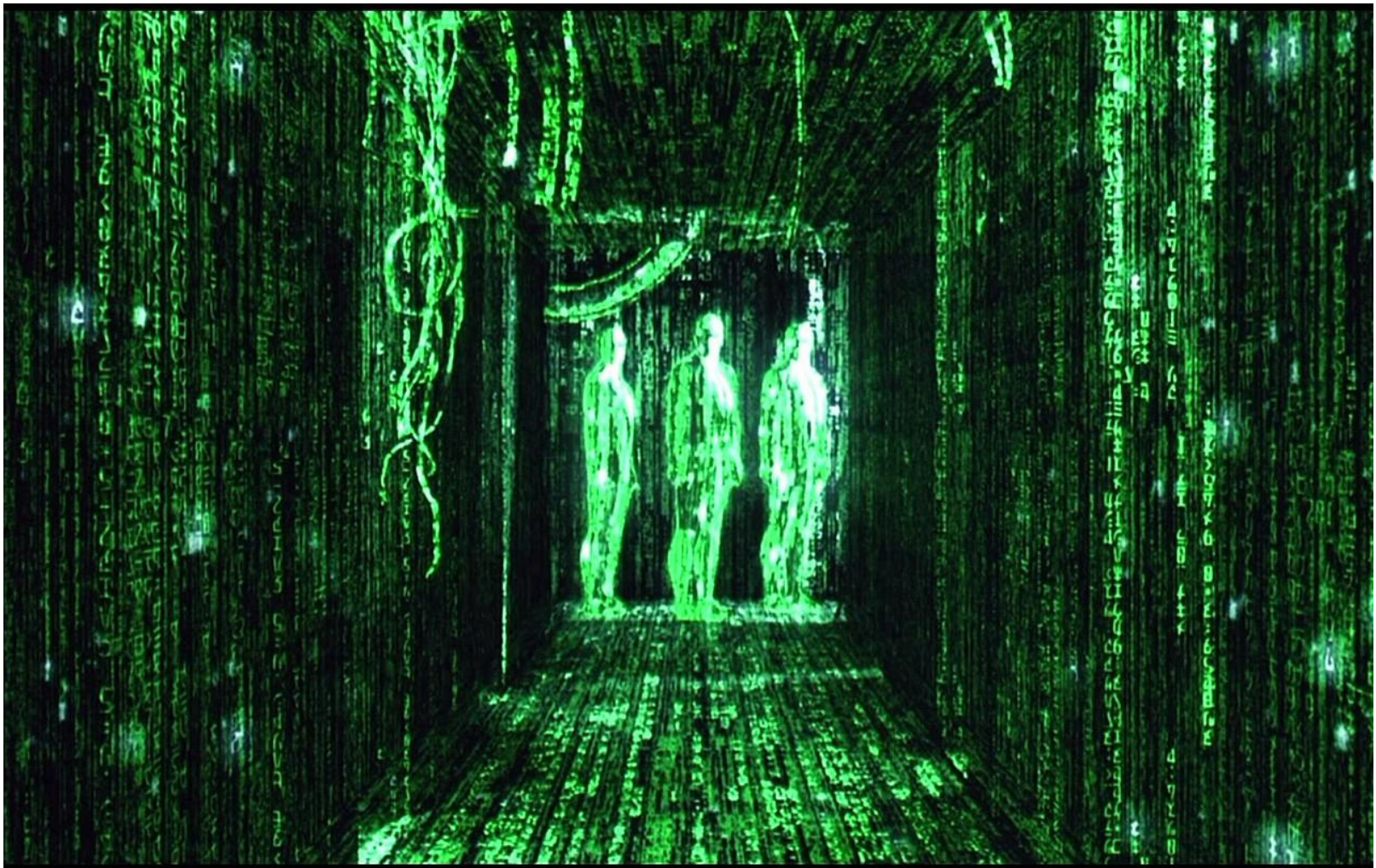
Hovorí sa tomu nekomutatívny priestor.

Idea podobná ako v kvantovej
mechanike. Realizácií niekoľko.

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**.

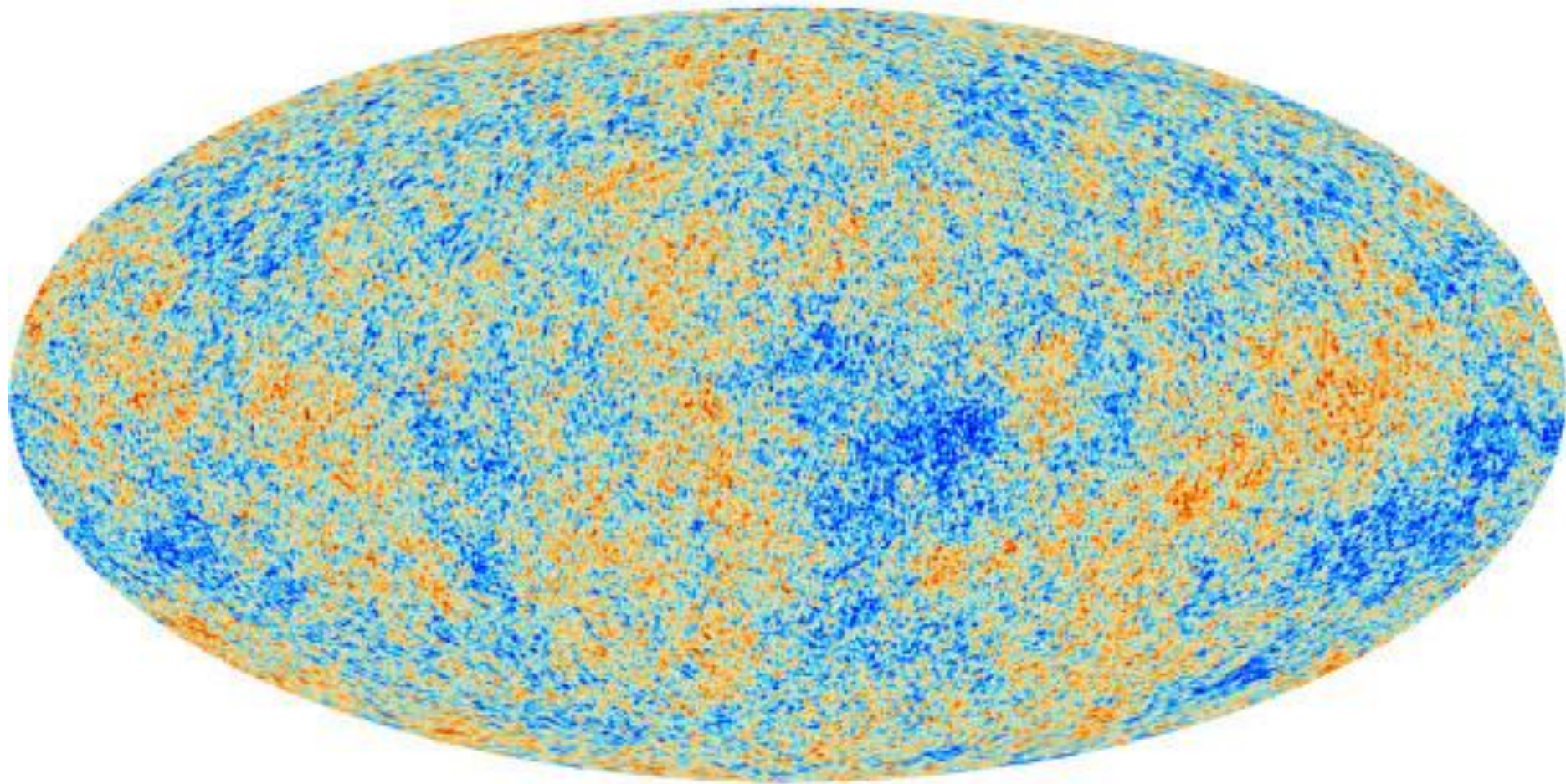
To iné sú **D0-brány**.

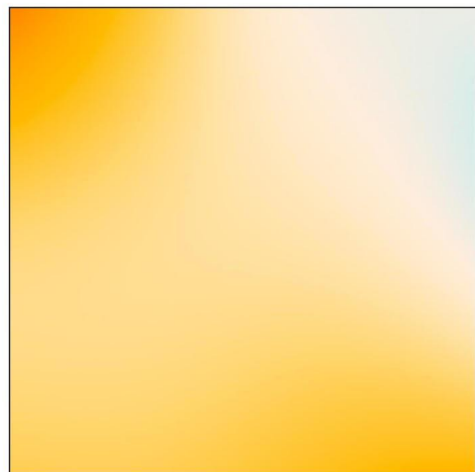
**Dá sa štruktúra
priestoru
uvidieť?**

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

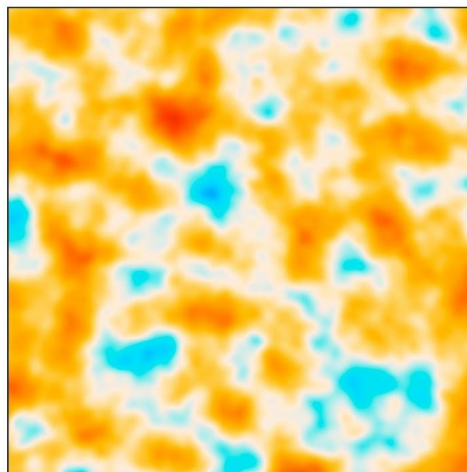
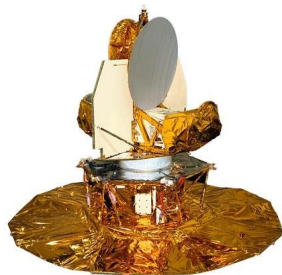
Priamo **nie**. (V horizonte 100 rokov.)

Nepriamo **áno**. (Dôsledky.)

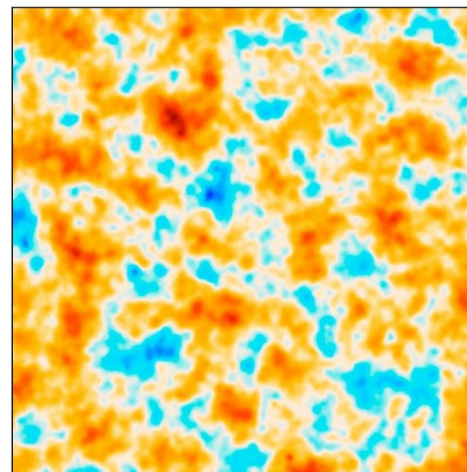




COBE



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 .

**Z čoho sa skladá
priestor?**

**S určitostí nevieme.
Ale rozmysliet si to je
kľúčovým krokom v
cestě za teóriou
kvantovej gravitácie.**

**Ďakujem za
pozornosť!**