

Kolik je na světě světů

Jiří Langer
Ústav teoretické fyziky
Matematicko-fyzikální fakulta UK

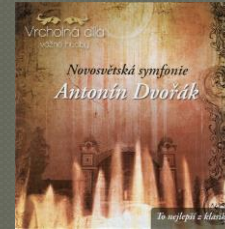


Obvykle o hořčici nestojím a беру si ji jen zřídka, ale teď bych za ni dal světy. Nevím kolik je ve vesmíru světů, ale kdyby mi někdo v tu chvíli přinesl lžičku hořčice, mohl je mít všechny. ... Harris řekl, že i on by dal za hořčici světy. Byla to velká příležitost pro kohokoli, kdo by se tam objevil se sklenicí hořčice: mohl být zásoben světy na zbytek života.

Jerome K. Jerome: Tři muži ve člunu.

Co je svět?

Pojem **svět** označuje celek věcí, míst a událostí, které jsou nám přístupné skrze smysly, zkušenosti a rozum. Nejběžnější význam slova odkazuje na planetu Zemi, její obyvatele a její životní prostředí. V širším slova smyslu se slovo vztahuje na vesmír jako celek (Wikipedie)



Johannes Scotus Eriugena - vesmír je vše stvořené

Universum je jeden z mnoha členů multiversa

Vesmír ve kterém žijeme – pozorovaný či pozorovatelný vesmír

Hvězd v galaxii $\sim 10^{11}$

Galaxií v pozorovaném vesmíru $\sim 10^{11}$

Vesmírů v multiversu $\sim 10^{500}$

Titus Lucretius Carus (De rerum natura, O přírodě)

Souhrn všeho, co jest, nemá hranice nikde
a v žádném směru, vždyť jinak by musel mít okraj;
Leč okraj je u věci možný jen tehdy, když něco
jí odjinud klade meze: a z toho je vidno,
až po kterou mez jde schopnost lidského smyslu.
Uznejme tedy, že nic mimo vesmír už není;
tož okraje nemá a postrádá meze i míry.
V které končině světa se octneš, je jedno;
stoupni si, kam chceš, a na všechny strany
nesmírný docela stejně ti zůstane vesmír.

Jak se dělá multiversum

1. Multiverzum a Hubbleova expanze

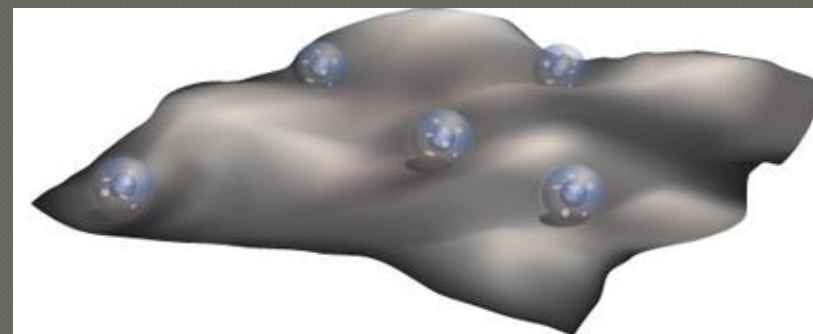
- V nekonečném expandujícím vesmíru existují nepozorovatelné oblasti

2. Multiverzum a inflace

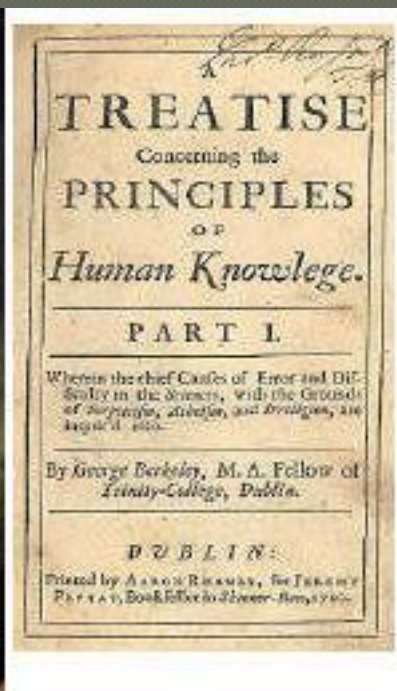
- Tzv. chaotická inflace vede k množství neinteragujících vesmírů, možná s rozdílnou fyzikou

3. Krajina teorie strun

- Každý dolík jiný svět



Existují paralelní vesmíry?



Esse est percipi?

- **Auguste Comte: *Cours de la Philosophie Positive***
- **On the subject of stars, all investigations which are not ultimately reducible to simple visual observations are ... necessarily denied to us. While we can conceive of the possibility of determining their shapes, their sizes, and their motions, we shall never be able by any means to study their chemical composition or their mineralogical structure**

- O pár let později Fraunhofer a spektroskopie

Z černé díry nemůže odejít žádná informace, takže je dokonale neviditelná
Ale: specifickým způsobem ovlivňuje své okolí

MULTIVERSUM – Snad potřebné pro konsistenci teorie

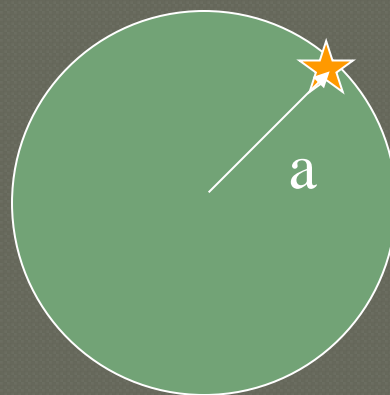
Friedmannova rovnice pro expanzi vesmíru

$$(p = 0)$$

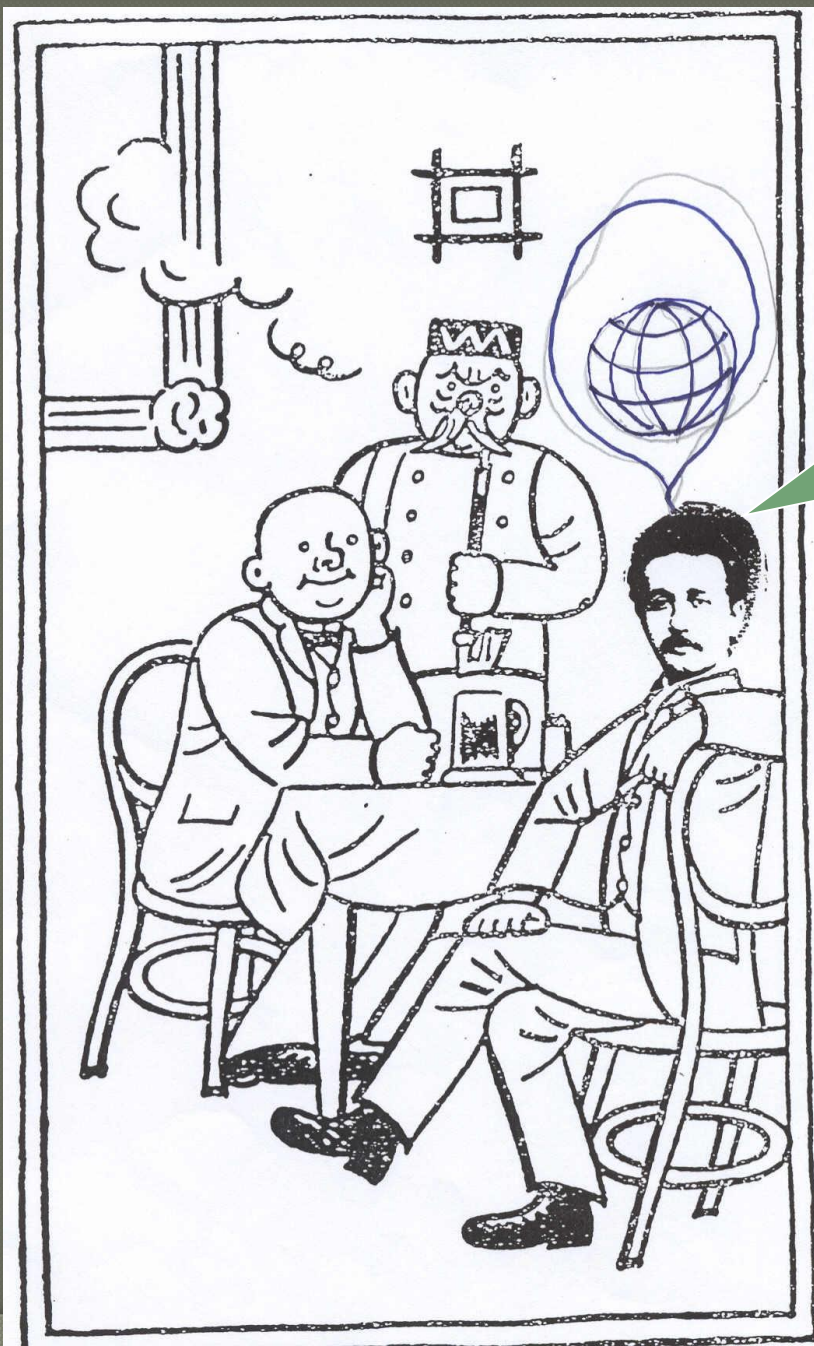
$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3}$$

$$\text{Zrychlení} \star = -G \frac{m}{a^2} + (\Lambda/3)a$$

$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{\Lambda}{3} - \frac{k}{a^2}$$



Λ - kosmologická konstanta či temná energie



λ!

Kosmologická konstanta *resp.* temná energie

$$\odot R^\mu_{\nu} - 1/2 R + \lambda \delta^\mu_{\nu} = T^\mu_{\nu}$$

The diagram shows the equation $\odot R^\mu_{\nu} - 1/2 R + \lambda \delta^\mu_{\nu} = T^\mu_{\nu}$. A green circle is next to the first term. A yellow line points from the λ term to a yellow box labeled "Kosmologická konstnata". Another yellow line points from the T^μ_{ν} term to a yellow box labeled "Tenzor energie a hybnosti".

Člen s kosmologickou konstantou působí stejně jako tenzor energie a hybnosti tekutiny s kladnou hustotou hmoty a záporným tlakem stejně velkým jako je hustota energie

Takovýto tenzor je invariantní při Lorentzově transformaci, což musí splňovat energie vakua

Pozorování ukazují, že kosmologická konstanta má malou kladnou hodnotu, působí tedy odpudivě

Kosmologická konstanta nebo temná energie?

- ◉ Vakuum není prázdnota
- ◉ Energie základního stavu, fluktuace vakua
- ◉ Princip relativity – vakuová energie ekvivalentní kosmologické konstantě
- ◉ Kvintesence – temná energie zvláštní pole (pak tlak nemusí být záporně vzatá hustota energie)

Supernovy typu Ia jsou ideální
standardní svíčkou, jejich pozorování
prokazuje, že vesmír se dnes již
rozpíná zrychleně

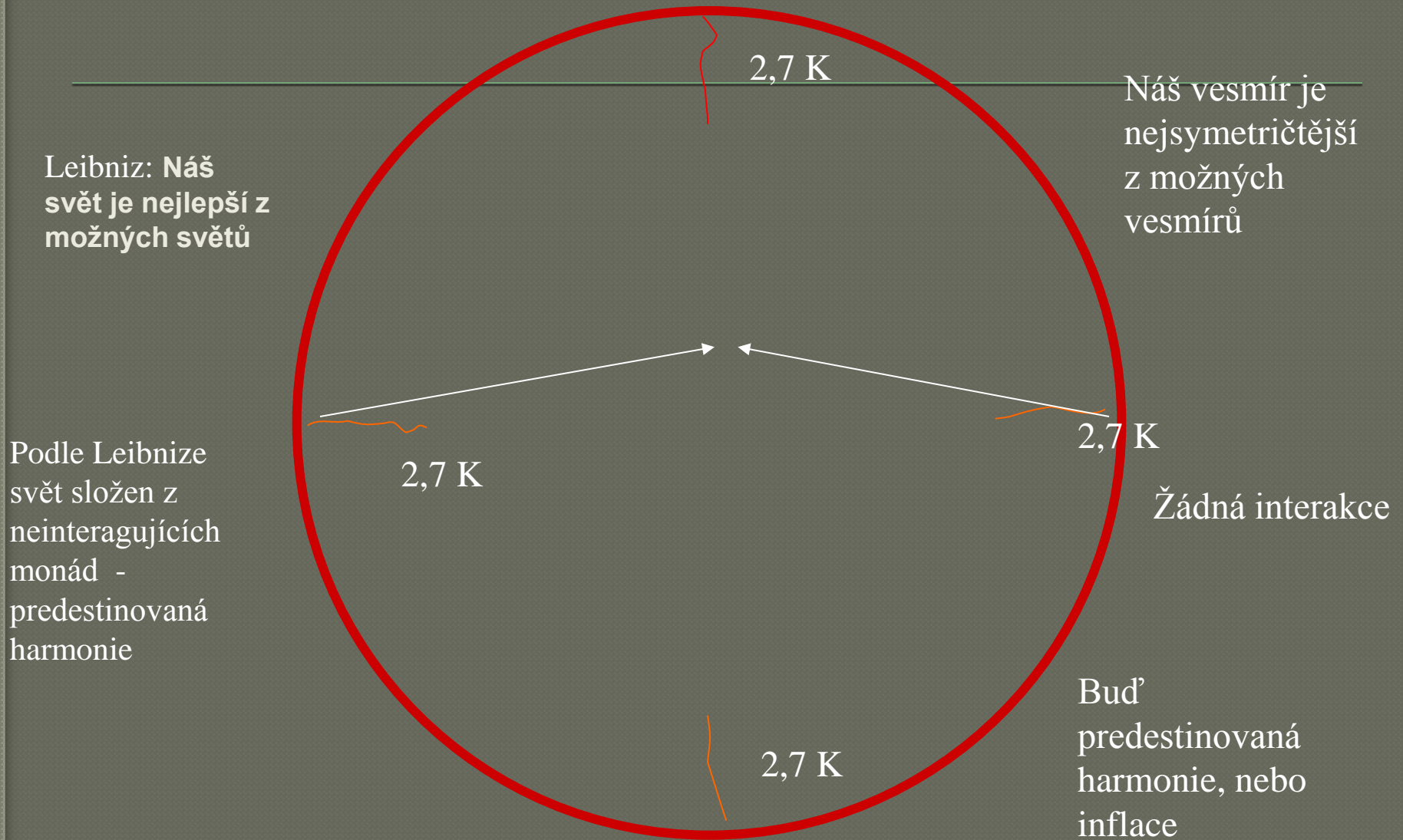


Heisenbergův princip neurčitosti

- Částice uzavřená v krabici nemá nikdy nulovou energii a tlačí na stěny
- Hvězdu hlavní populace drží v rovnováze termální tlak
- Bílý trpaslík drží v rovnováze tlak degenerovaného elektronového plynu
- Neutronovou hvězdu drží v rovnováze tlak degenerovaného neutronového plynu

Multiversum a inflace

Proč inflace?



Jak inflace léčí problém horizontu?

- Celý pozorovaný vesmír vznikl prudkým rozepnutím nepatrné oblasti, kde se mohly nepravidelnosti vyhladit
- Mimo oblast našeho pozorování mohou existovat jiné vesmíry, s jinými vlastnostmi

Mechanismus inflační expanze

- Předpokládá se existence nějakého pole, které má vlastnosti kosmologické konstanty – má kladnou hustotu energie, ale působí v něm záporné tlaky.
- V řeci částic – inflantony se odpuzují.
- Rozdíl proti kosmologické expanzi – inflantony se rozpadají na částice hmoty, kterou pozorujeme ve vesmíru, expanze je dočasná

Věčná inflace

- Andrej Linde – v rozpínající se oblasti vznikají nová centra inflace obecně s jinými parametry.
- Vzniká řada vesmírů s obecně různými vlastnostmi – jedna cesta k multiversu

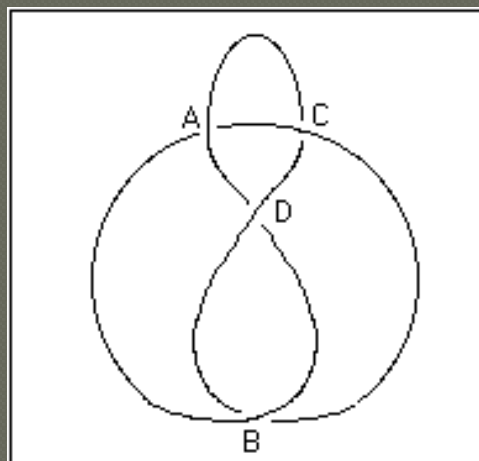
Čtvrtý rozměr a fyzika 19. století

My soul is an entangled knot,
Upon a liquid vortex wrought
By Intellect in the Unseen
residing.

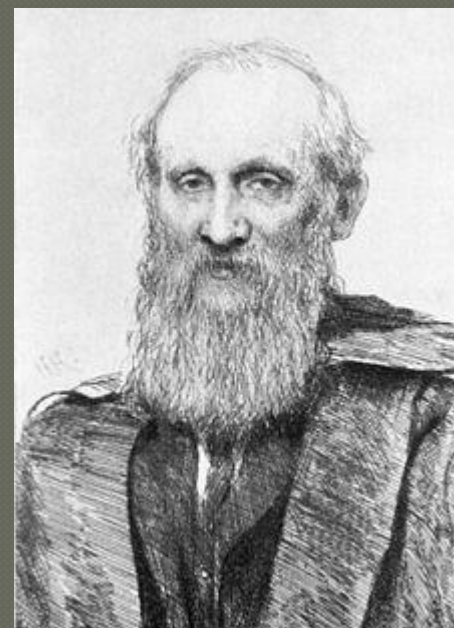
And think doth like a convict sit,
With marlinspike untwisting it,
Only to find its knottiness
abiding;
Since all the tool for its untying
In four-dimensional space are
lying.

- Mou duši v uzel zapletl
 - a na bujný vír navlekl
 - génius z kraje neznámého.
 - Lodníka zručnost chtěl bych mít
 - a mysl svoji uvolnit
 - z vězení smyček svíravého!
 - Leč nástroj, jenž by vhodný byl,
 - do čtvrté dimenze se skryl.
- *James Clerk Maxwell* (1831-1879)

Trochu ironizuje spiritistické interpretace, zároveň narážky na Thomsonův model éteru s víry. Jiné teorie – éter prosakuje ze 4. dimenze



(Vzpomeňme si na tenhle obrázek
při Calabiho – Yauových varietách)



William Thomson 1824-1907
(lord Kelvin of Largs)

B. Steward
G. Tait



Pětirozměrný prostoročas

Prostoročasový interval v různých dimenzích

Obecná relativita

$$D=4 \quad ds^2 = \sum g_{ik} dx^i dx^k \quad i,k = 1 \dots 4$$

10 nezávislých g_{ik} popisuje gravitaci



Oskar Klein

Kleinova-Kaluzova teorie

$$D=5 \quad ds^2 = \sum g_{ik} dx^i dx^k \quad i,k = 1 \dots 5$$

g_{ik} $i,k = 1 \dots 4$ gravitace
 g_{5k} $k = 1 \dots 4$ elektromagnetismus
 g_{55} skalární pole



Theodor Kaluza

Kaluzova-Kleinova teorie (1920-1926)

Kaluzův prostoro-čas 4+1 rozměrný

Metrický tenzor má 15 nezávislých komponent

10 složek-geometrie 4-rozměrného prostoročasu

4 složky-elektromagnetismus

1-skalární pole

Cylindrická podmínka – veličiny nezávisí na 4 souřadnici

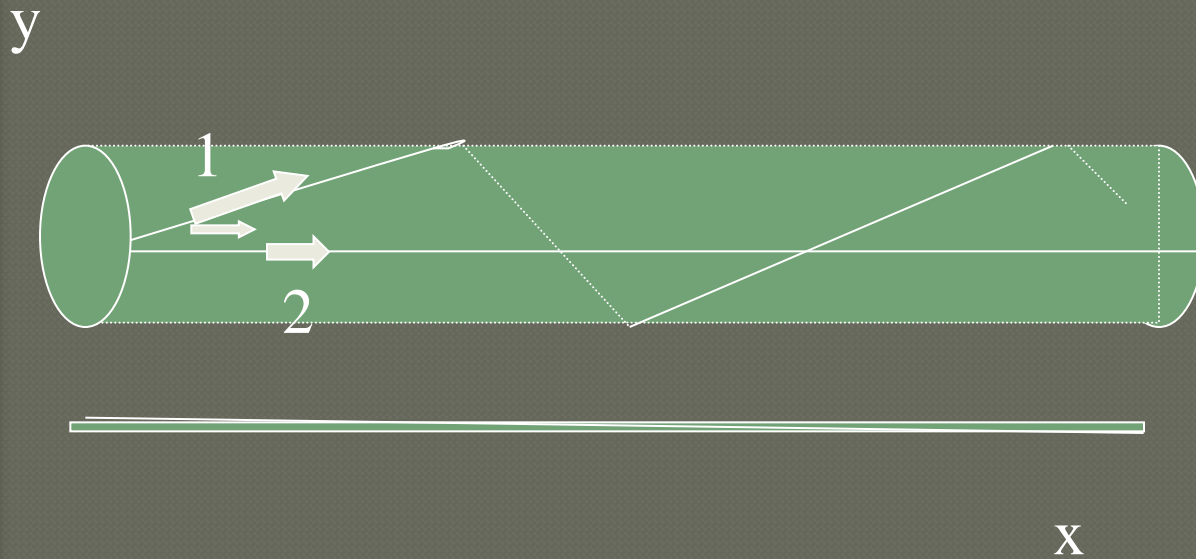
Einsteinovy rovnice v pěti dimenzích ekvivalentní

Einsteinovým rovnicím ve 4 (3+1) dimenzích + Maxwellovým rovnicím

Rovnice geodetiky v 4+1 prostoročasu ekvivalentní pohybové rovnici částice v 3+1 prostoročasu pod vlivem elektromagnetického pole.

Klein – kompaktifikace dodatečné prostorové dimenze vede ke kvantování náboje.

Ke kompaktifikaci dimenze



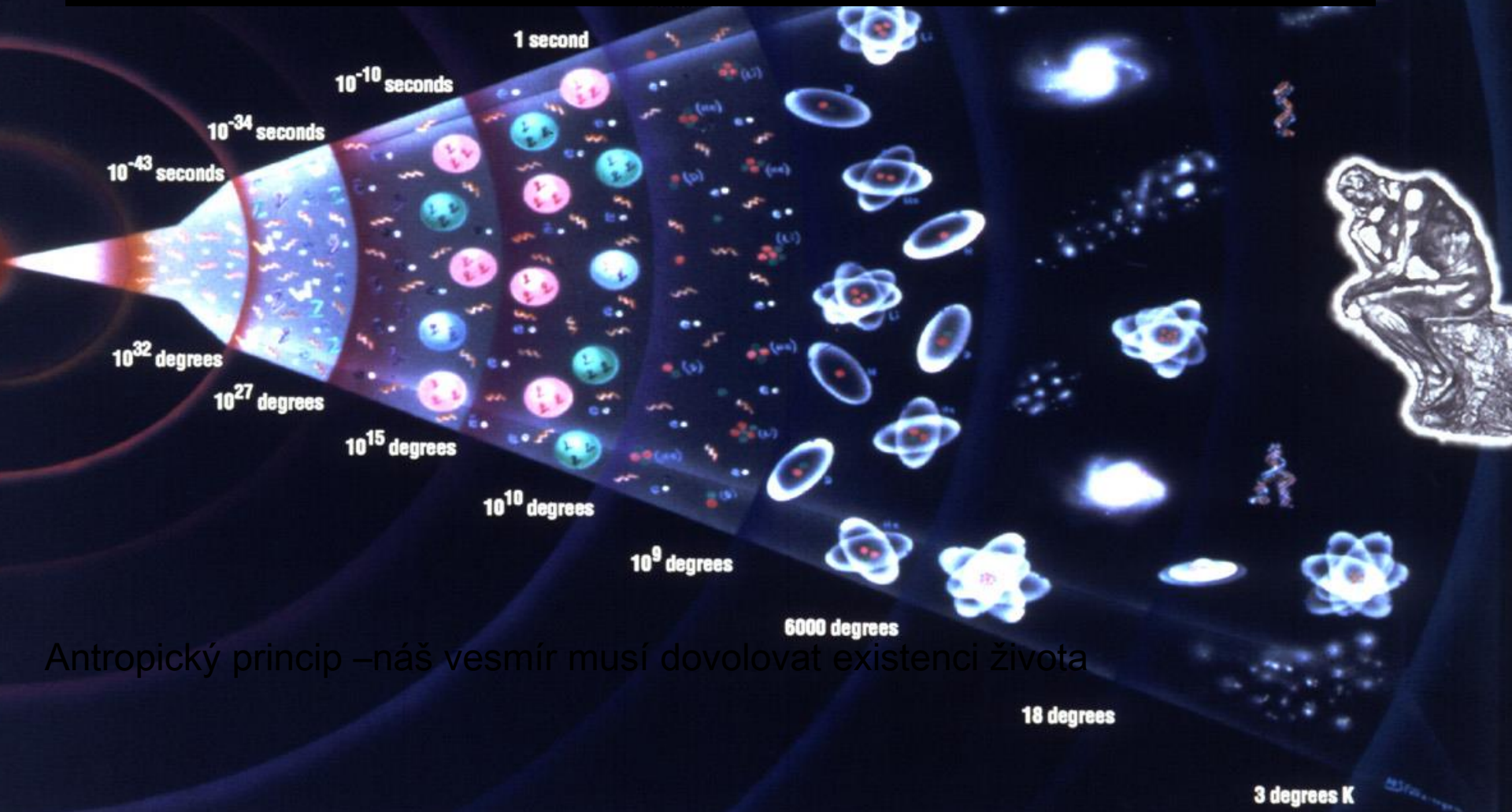
Obě částice mají tutéž **hybnost** ve směru x ,
ale různou **energii**, tím podle teorie relativity
i různou hmotnost

Sny o teorii všeho

- Teorie „všeho“ – sjednocení čtyř základních interakcí
- Naděje (nesplněná): teorie by měla vysvětlit například proč elementární částice mají hmotnosti jaké mají, určit hodnoty fyzikálních konstant atd.
- Kandidát – teorie strun, konzistentní jen ve více dimenzích

Standardní model elementárních částic + obecná teorie relativity dávají konsistentní scénář vývoje vesmíru. Ale:

Volné parametry (interakční konstanty, hmotnosti částic...) musí mít velmi speciální hodnoty



Antropický princip – náš vesmír musí dovolovat existenci života

Jemné vyladění

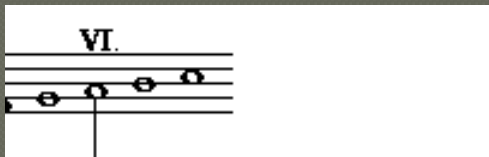
Konstanta jemné struktury:

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c 4\pi\epsilon_0} = \frac{e^2 c \mu_0}{2h} = 7.297\,352\,570(5) \times 10^{-3} = \frac{1}{137.035\,999\,070(98)}$$

Změna na pátém desetinném místě-žádné atomy!

Nepatrná změna základních konstant a nemohlůi bychom existovat

Proč mají přírodní konstanty své jemně vyladěné hodnoty?



G α h c

Rychlost světla
Planckova konstanta
Konstanta jemné struktury
Gravitační konstanta



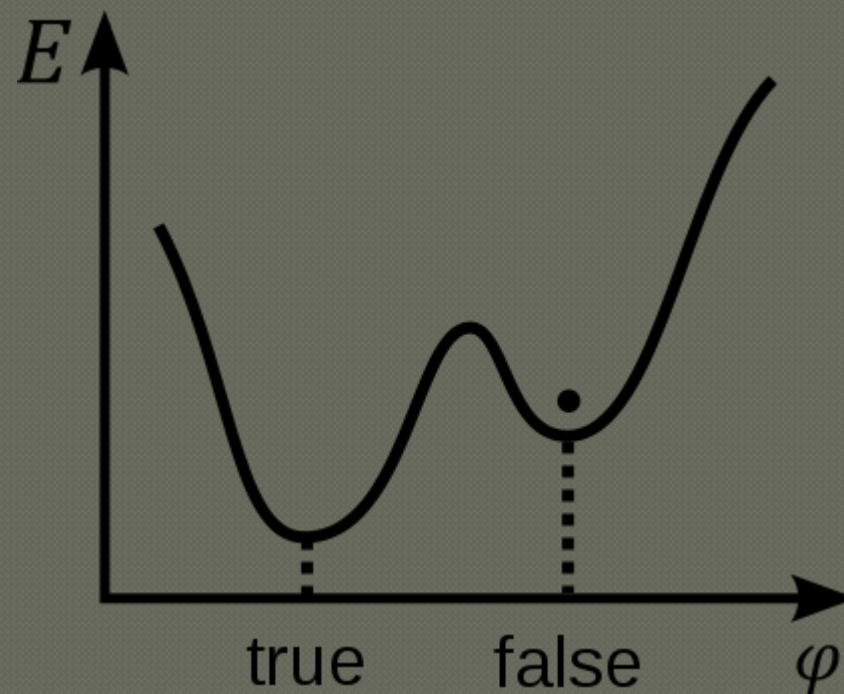
Teorie superstrun?



Naděje: Hra na struny nám
dá hmoty elementárních
částic, hodnoty konstant
atd.

Realita: Teorie strun vede
ke “krajině (Landscape)”
možností (10^{500} ?),
“Multiversum”

Falešné vakuum



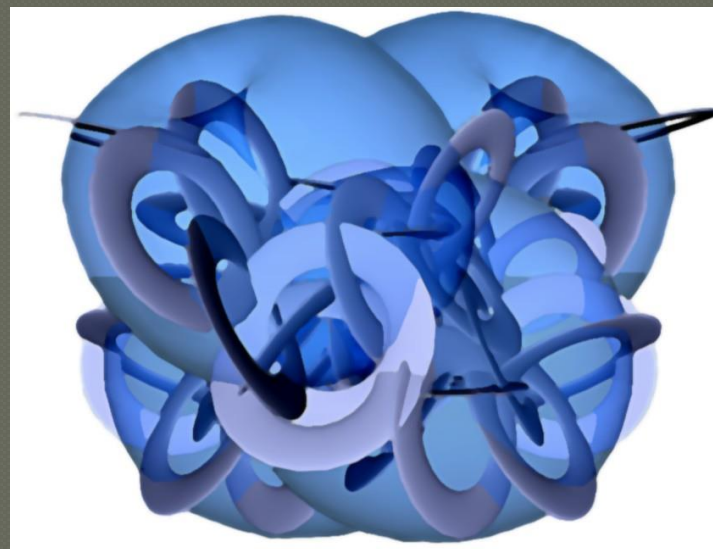
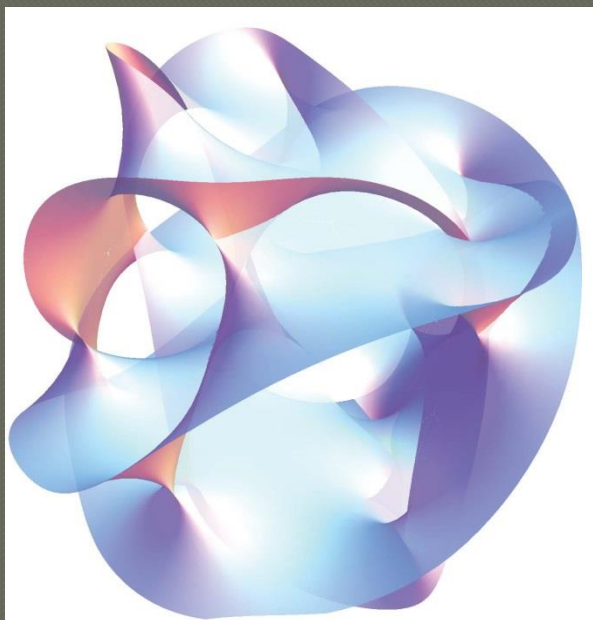
Krajina posedlá tmou (alespoň podle nepřátel teorie strun)



Kompaktifikace v jedné dimenzi – kružnice



Kompaktifikace ve více dimensích
– Calabiho – Yauovy variety
(vzpomeňme Kelvinovy víry)



Emental Cheese Universe - Multiverse



Obyvatelný vesmír –
velmi vzácný

Antropický princip: Žijeme v takovém vzácném vesmíru proto,
že jinde žít nemůžeme!

William Occam: Nezaváděj zbytečné veličiny!
entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem

OCCAM'S RAZOR

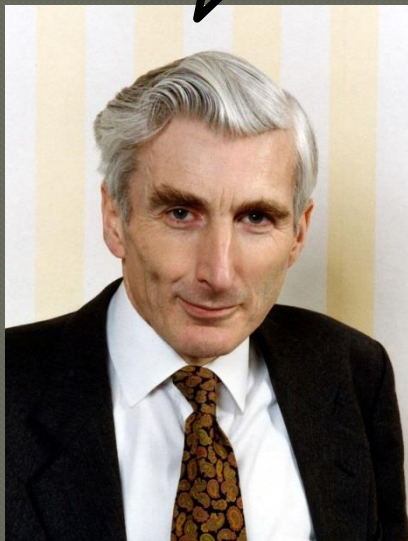
*A Parsimonious
Shave Every
Time!*



Jsou "vousy" dodatečných dimenzí nutné či nadbytečné?
Jsou nezbytné k vystižení empirických vlastností světa?

???

Na existenci
multiverza
bych vsadil
život svého
psa
Martin Rees



Na
existenci
multiverza
bych vsadil
svůj vlastní
život
Andrej Linde



Na existenci
multiverza bych
vsadil jak život
Reesova psa, tak
i život Andreje
Lindeho
Steven Weinberg



A CO TY



Už věříš na multiverzum?