The background of the slide is a complex, fractal-like pattern of purple and orange lines, resembling a cosmic web or a network of interconnected nodes. The lines are thin and form a dense, interconnected mesh. The colors transition from deep purple to bright orange and yellow at the nodes and intersections.

Vesmírné perpetuum mobile

Zdeněk Mikulášek, Ústav teoretické fyziky a astrofyziky MU

Univerzita třetího věku, PŘF MU Brno, 20. října 2016

Perpetuum mobile

- O sestrojení samovolně a věčně se hýbajícího umělého stroje – **perpetua mobile**, usilovali vzdělanci odedávna.
- Věřili, že se to někomu musí povést – předobrazem jim bylo dění na obloze – to také už od okamžiku stvoření běželo samo, a zřejmě věčně.
- PM se po všech stránkách intenzívně zabýval **Jan Amos Komenský**, který promarnil spoustu času množstvím pokusů, jež byly předem odsouzeny k nezdaru.
- Komenský souběžně řešil i otázku, co by pro lidstvo takový objev znamenal: byl by sice vrcholem pokroku, zázrakem umožňujícím přímý kontakt se Stvořitelem.
- Na druhé straně zavedení PM do praxe znamenal začátek éry bezpracného života, zlenivění, marasmu a bezbožnosti. To nakonec Komenského vedlo k pochybnostem, zda by Bůh objev PM vůbec připustil.

Dnes ovšem víme, že fungující perpetuum mobile by znamenalo zjevné porušení některého z přírodních zákonů, speciálně pak zákona zachování energie (PM 1. druhu) a poklesu entropie (PM 2. druhu).

- Naproti tomu už dávno existují PM 3. druhu, „nezastavitelné“ hudební skladby, tempo – motto perpetuo.



Kosmologie a její specifika

- Snaha sestrojít perpetuum mobile = pokus o přenesení odlesku nebeské dokonalosti do našich upachtěných pozemských poměrů.
- Galileo, Newton, Fraunhofer, Kirchhoff ale ukázali, že ona dokonalost je jen zdání. „Nebeská“ fyzika je totiž úplně stejná, jako ta pozemská, platí v ní tytéž zákony, hmota se tam sestává z elementů, jako vše kolem nás.
- Mohla vzniknout **astrofyzika** i její svébytná součást – **kosmologie**, věda o vesmíru.
- Předmět zkoumání: **Vesmír** – obsahuje vše, co máme možnost pozorovat, i to co pozorovat nemůžeme. Metoda poznávání vesmíru je **extrapolace** založená na předpokladu jednoty vesmíru na úrovni základních fyzikálních zákonů.
- Ten předpoklad jednoty zákonů vůbec není samozřejmý, stejně jako zjištění, že vesmír je velkých měřítkách prostorově homogenní a izotropní.
- Další specifikum vesmíru není homogenní v čase. Už na počátku 20. století se odhalila jeho **rozpínání**. Konečná rychlost světla umožňuje studovat minulost vesmíru pozorováním vzdálených objektů – je to kosmologický stroj času.
- Nejvzdálenější světlo z vesmíru – **reliktní záření**, hlouběji už jít nelze. Narazíme na neprůhlednou stěnu vesmíru, který ale byl úplně jiný, než ten dnešní: horký, bez hvězd a galaxií.



VIDÍM, SLEČNO, ŽE NEZNÁTE MOJI TEORII VELKÉHO
TŘESKU PLESKU!



Povaha velkého třesku. Střed vesmíru

- Současná pozorování reliktního záření a nejvzdálenějších supernov ukazují, že vesmír vznikl před 13,7 miliardami let **velkým třeskem**, a od těch dob se nepřetržitě rozpíná.
- Teorie VT nebyla z počátku všeobecně přijímána– VT je v podstatě hanlivá nálepka. Víc zastánců měla konkurenční teorie stálého rozpínání vesmíru bez počátku s neustálou tvorbou hmoty „z ničeho“. Poražena byla až pod tíhou pozorovacích důkazů.
- **Byl velký třesk gigantickou explozí?**
- **Exploze** : důsledek okamžitého zvýšení tlaku v epicentru výbuchu. Vzniká ničivá rázová vlna, hnaná rozdílem tlaků uvnitř a vně bubliny výbuchu. Zprvu silná akcelerace se zmenšuje s tím, jak se zmenšuje rozdíl mezi tlakem uvnitř a vně. Další postup výbuchu zastaví odpor vnějšího prostředí. Je tohle scénář velkého třesku?
- **Vesmír** : Podobně jako při explozi zde byl na počátku v důsledku extrémní teploty a hustoty gigantický tlak. Vesmír je však homogenní – neexistují v něm gradienty tlaku – tlak tedy nemá žádný přímý silový účinek. Představuje kladný příspěvek k hustotě energie a projevuje se tak gravitačně. Gravitace je pak jediná síla, která může ovlivnit tempo rozpínání vesmíru. Protože je gravitace přitažlivá, může expanzi vesmíru pouze brzdit.
- **Střed vesmíru** : Vesmír nemá střed, jeho rozpínání je důsledkem rozpínání jeho vlastního prostoru, není tedy explozí, jež se šíří prostorem.
- Název velký třesk (big bang) není vhodně zvolený – byl na výsost klidný a nehlukný akt.

DVĚ KOSTIČKY ANTIMONY JAKO OBVYKLÉ, PANE PROFESORE?

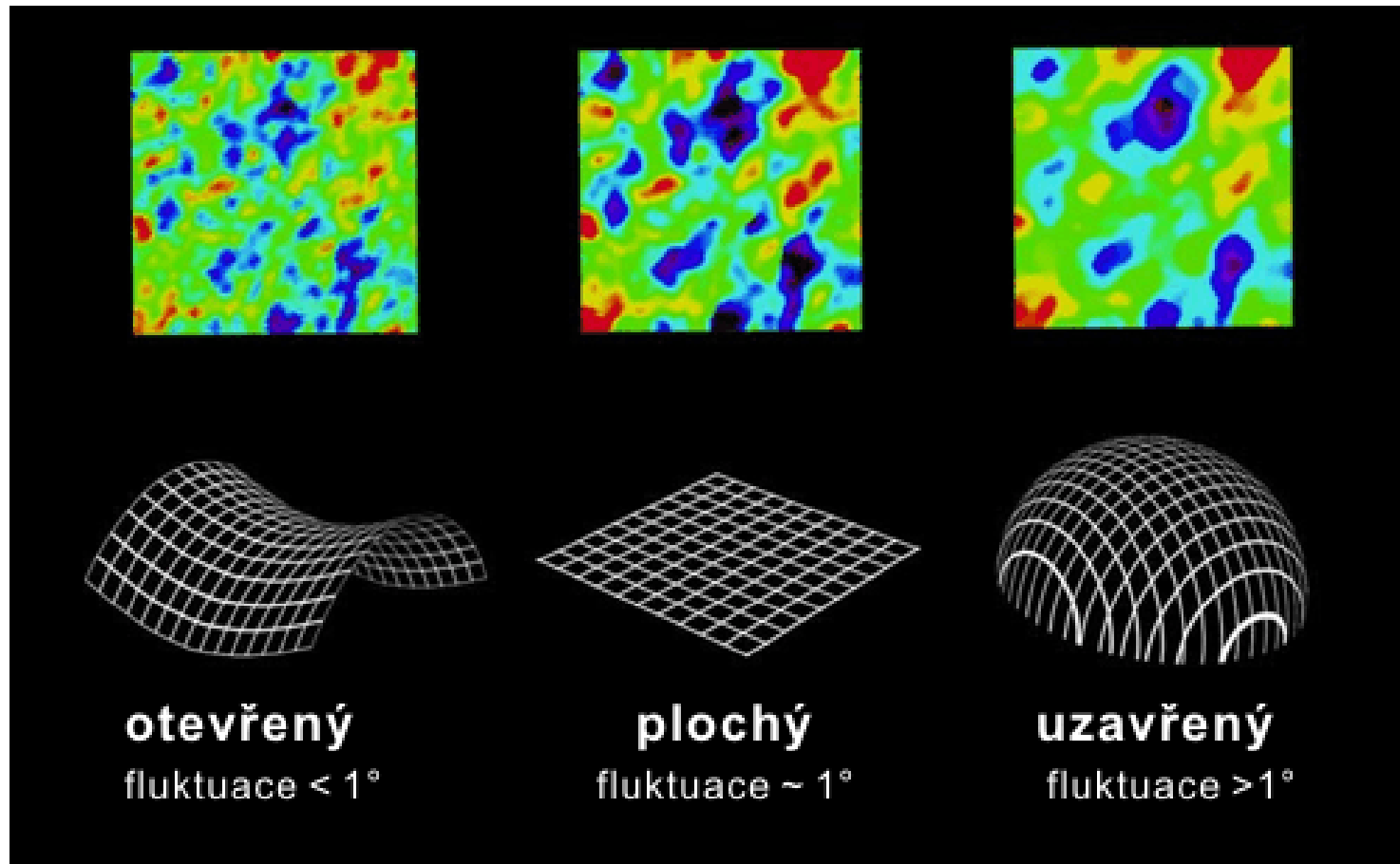


Úspěchy standardního modelu vesmíru

- **Standardní model** je založen na současných fyzikálních teoriích – obecné teorie relativity, teoriích dalších 3 interakcí a jejich sjednocení. Vývoj vesmíru krátce po velkém třesku až do současnosti je schopen vysvětlit specifickou povahu dnešního vesmíru, speciálně pak:
- Asymetrii ve výskytu **hmoty a antihmoty** – mírně asymetrický rozpad X bozonů v době cca 10^{-35} s. Anihilací pak vzniklo množství fotonů – ty se dnes projevují tzv. reliktním zářením.
- **Chemické složení** vesmíru – konkrétně zastoupení prvotního hélia vůči vodíku.
- Vyřešení **paradoxu horizontu vesmíru** – jak je možné, že i v protilehlých místech vesmíru, které neměly za dobu existence vesmíru čas k výměně informací, platí identické zákony a je tatáž hustota a tempo rozpínání.
- Předpoklad **inflační fáze** vesmíru v době cca 10^{-35} s, kdy došlo k enormnímu nafouknutí vesmíru o mnoho řádů, v důsledku odpudivé gravitace falešného vakua. Jeho rozpadem vznikla naprostá většina hmoty ve vesmíru a jeho křivost je nyní přesně nulová.
- Standardní model umí vysvětlit **reliktní záření**, které se oddělilo v době cca 400 tisíc let po velkém třesku od hmoty a umožnilo její další vývoj do hvězd a galaxií.

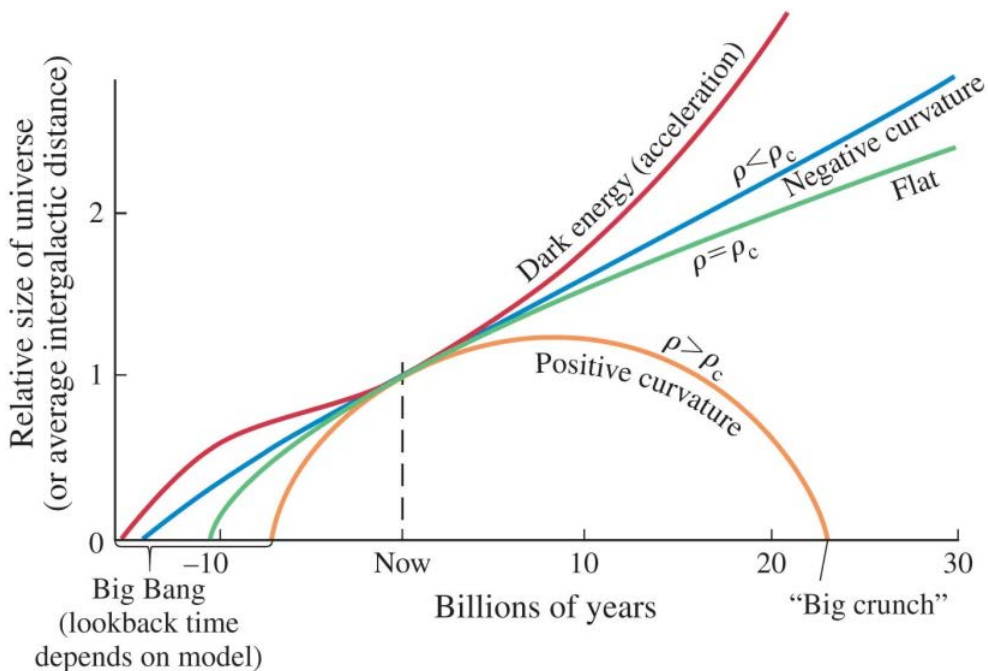
Ověření geometrie vesmíru

z družicových měření mikrovlnného záření pozadí



Současný vesmír a jeho paradoxy

- Modely vesmíru rovnoměrně vyplněného hmotou s počátečním VT s Einsteinovou teorií gravitace vyřešil už Fridman krátce po uveřejnění obecné teorie relativity.

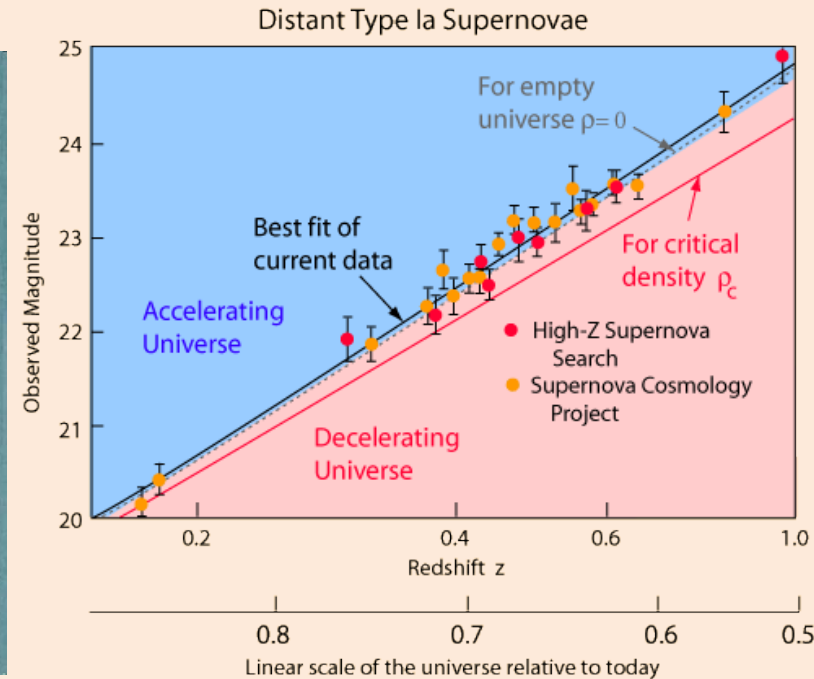
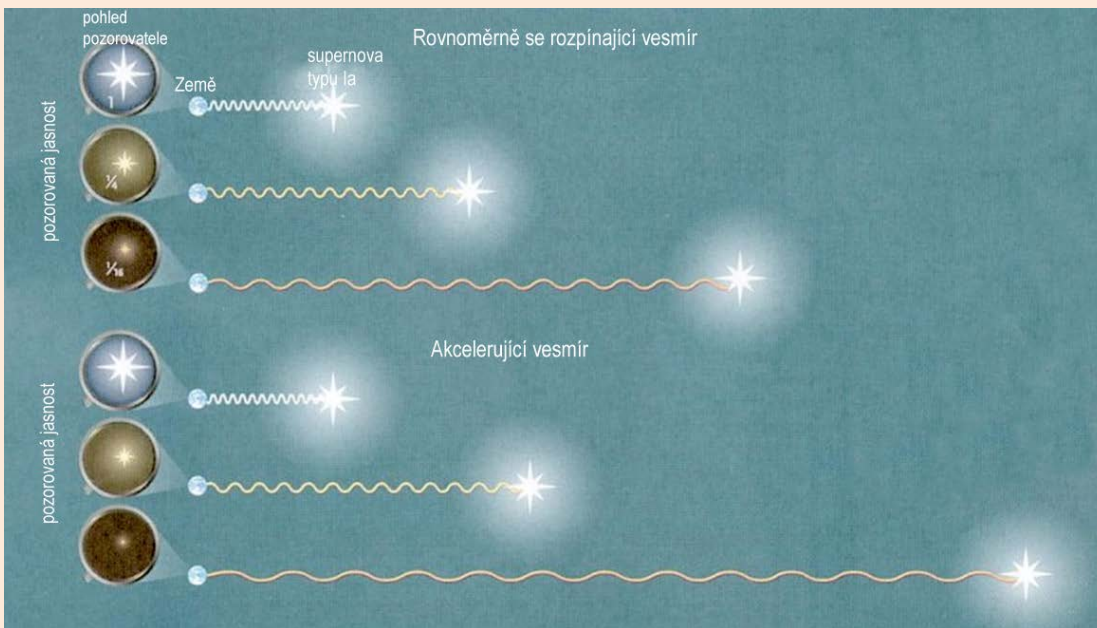


- Povaha řešení závisí na poměru hustoty vesmíru vůči **kritické hustotě** dané tempem rozpínání.
- Při $\Omega = 1$ parabolický vesmír s eukleidovskou geometrií, nekonečným objemem, stárím cca 10 mld let.
- Náš vesmír je zřejmě plochý, což by ukazovalo na vesmír s kritickou hustotou, nicméně běžná hmota (atomy, záření, neutrina) představuje pouhých 5%!

Existují nepřímé důkazy o existenci **temné látky**, jež interaguje jedině gravitací – 25%.

- Další paradox- vůbec neseď stárí vesmíru – nejstarší hvězdy mají 13 mld let.

Akcelerující vesmír



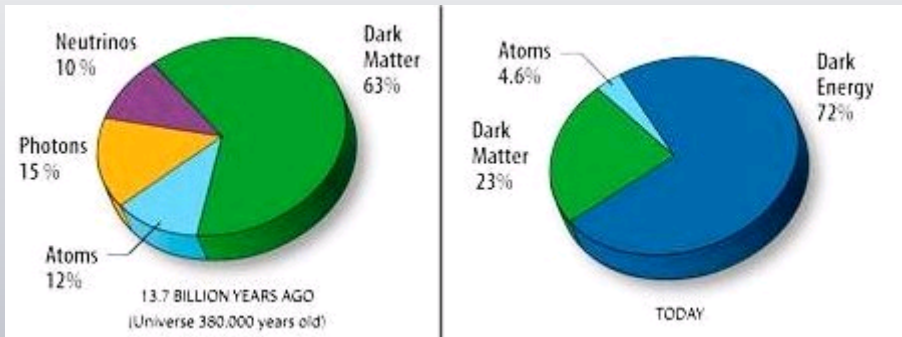
- Je-li gravitace přitažlivá, pak se nutně musí rozpínání vesmíru zpomalovat. Který ze standardních modelů platí? – podle rychlosti decelerace.
- A jak na to? – nasednout do stroje času (pohlédnout do do daleka) a tempa expanze v minulosti porovnat.
- 1998 - dva týmy: ze studia jasnosti a červeného posuvu supernov typu Ia → rozpínání vesmíru se zrychluje!!
- Opudivá gravitace potvrzena → Nobelovacená 2011



Saul Perlmutter, Adam Riess, Brian Schmidt

Vesmírné perpetuum mobile - temná energie

- **Temná energie**, kvintesence – zvláštní, dosud neprozkoumaná forma hmoty. Podobně jako **temná látka** interaguje jen gravitací, ale tu má na rozdíl od ní odpudivou. Dokonale prostupuje celý prostor vesmíru, a její hustota se i při rozpínání vesmíru nemění.
- Tvoří se „z ničeho“ a svým působením rozhání vesmír. Tempo jeho rozpínání je už teď exponenciální, zvětšovat se bude tedy stále rychleji, přičemž přitom bude původní látka řádnout a temné energie (kladné) bude přibývat. Není to tedy **perpetuum mobile** non+ultra?
- Nejsou vlastnosti temné energie oním flagrantním porušením zákona zachování energie? Byl tedy vůbec velký třesk? Nebo je to krapet složitější?

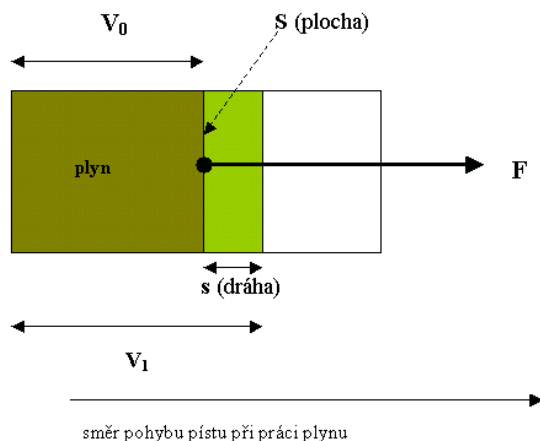


Zastoupení temné energie během času měnilo – až do konce éry záření (380 tisíc let) tu nehrála roli. Proto jsou výsledky standardních modelů úplně v pořádku. Expanze v. se dle očekávání zpomalovala.

Nicméně s tím jak běžná látka expanzí řídla, podíl TE rostl. 2 mld po VT dostala TE vývoj vesmíru pod svou brutální kontrolu. **Budoucnost vesmíru** je tak tristní.

Záporný tlak temné energie

- Hustota energie $\varepsilon = \rho c^2$ a tlak p pro různé formy hmoty jsou veličiny stejného rozměru, jejichž vztah lze zjednodušeně zapsat ve tvaru: $p = w \varepsilon = w \rho c^2$, kde w je bezrozměrné číslo.
- Pro fotonový plyn platí $w = 1/3$, chladný ideální plyn $w \sim 0$, a nejjednodušší podobu temné energie je $w = -1$. Protože $\varepsilon > 0$, musí být její **tlak záporný!** Divné, což?



Ze zákona zachování energie plyne, že změní-li se objem látky pohybem pístu o ΔV , vykoná se práce $W = F \Delta s = p S \Delta s = p \Delta V$, a to na účet vnitřní energie ΔU , $\Delta U = -p \Delta V$.

U TE se ale hustota energie nemění, platí tedy $\Delta U = \varepsilon \Delta V = -p \Delta V$, takže $p = -\varepsilon$.

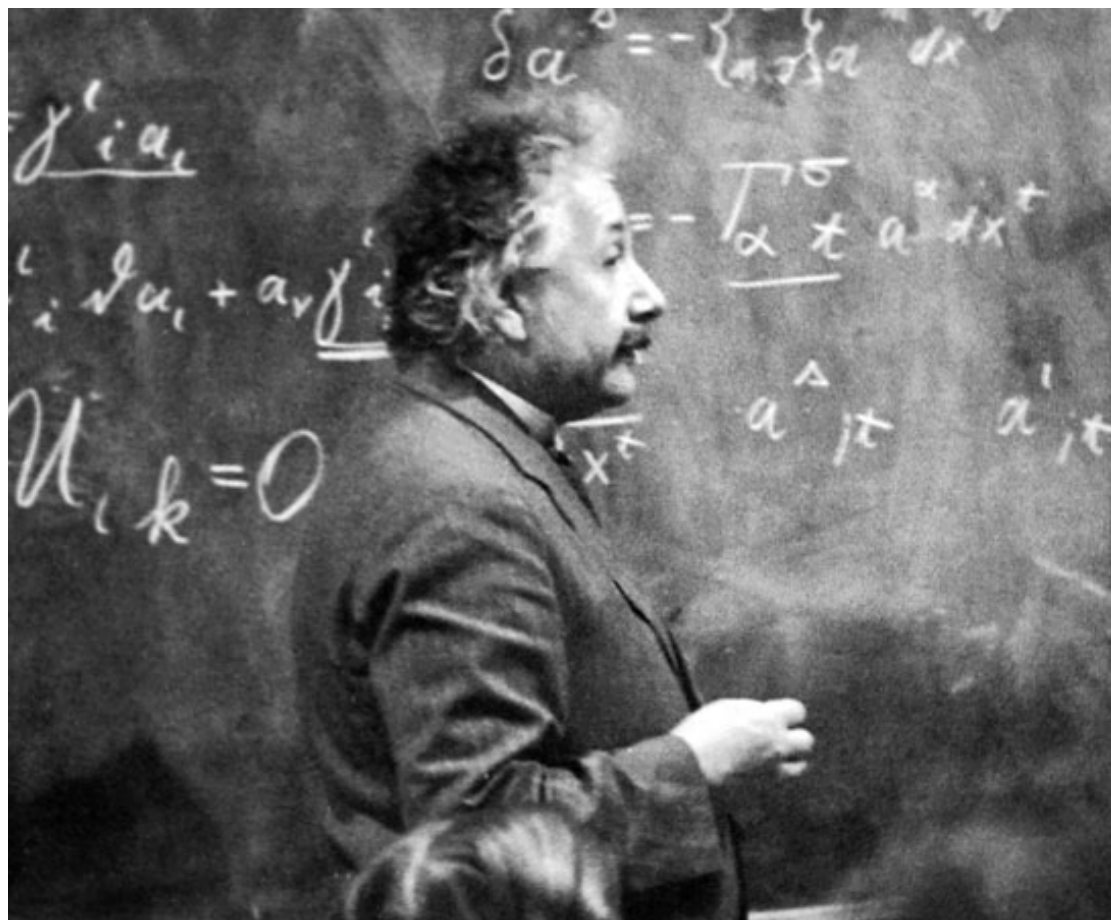
Tlaková síla je rovněž konstantní a směřuje dovnitř, celý objem se snaží zmenšit do nuly. Uvolnila by se tím energie odpovídající celkové vnitřní energii TE.

Naopak při rozpínání by práce spotřebovávala na tvorbu nové temné energie.

Celkově to vypadá spíše na to, že by se vesmír se záporným tlakem měl smršťovat.

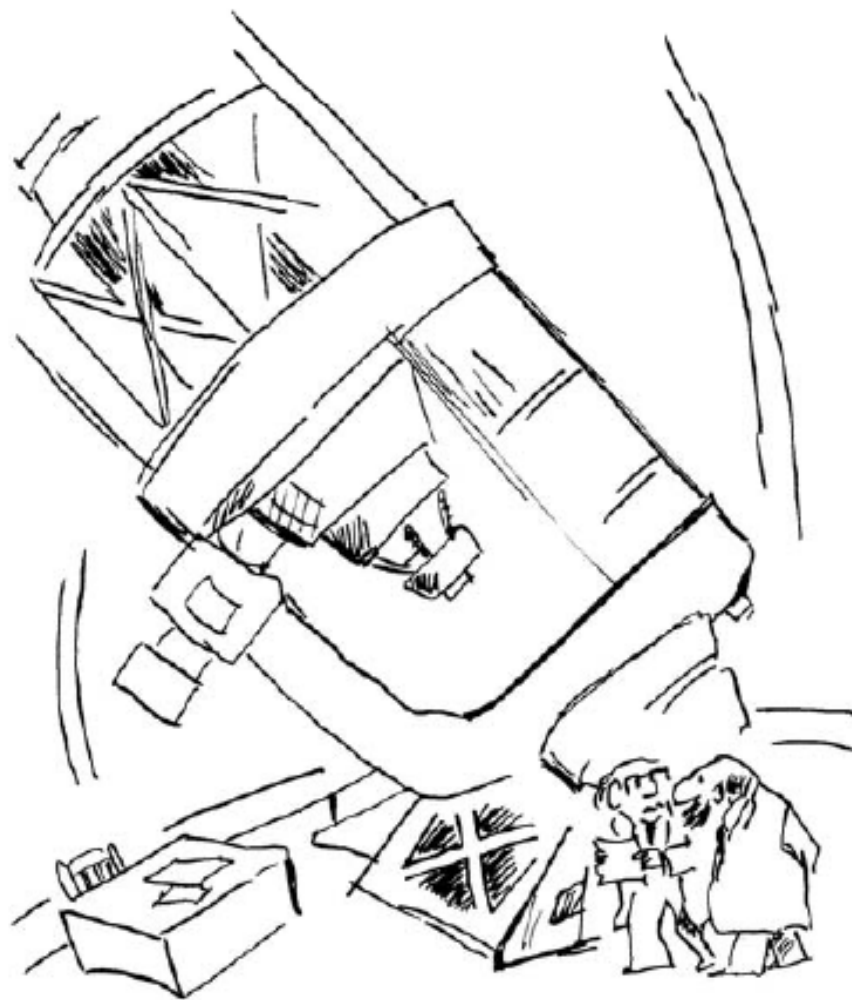
- Jenže díky homogenitě vesmíru jsou tyto tlaky všude stejné: dynamický účinek

Ten za to všechno může...



Akcelerace vesmíru s temnou energií

- Jediná síla, schopná ovlivnit rozpínání homogenního vesmíru, je gravitace. Z obecné teorie relativity, plyne, že gravitace je úměrná $\rho c^2 + 3 p = \rho c^2 (1+3 w)$, kde mimo hustoty energie ρc^2 vstupuje i tlak p .
- Tlak fotonů, běžné látky i temné látky je kladný a obecně tak posiluje gravitaci, i když někdy lze jeho příspěvek zanedbat. V případě temné energie ($w = -1$) nebo hypotetických kosmických strun ($w = -1/3$) jde proti.
- Je-li $w < -1/3$, je výsledná **gravitace odpudivá**. To je pravou příčinou **zrychlování** rozpínání + **tvorby látky** ve vesmíru. Vývoj hustoty forem látky s různou stavovou rovnicí: $\rho \sim a^{-3(1+w)}$
- Pozorování tempa akcelerace současného vesmíru ukazují, že $w \sim -1$ a hustota vesmíru se nyní už nemění, stejně jako velikost Hubbleovy konstanty $H = \dot{a}/a = \text{konst.} \sim 1/(10 \text{ mld let})$.
- Vzdálenosti objektů ve vesmíru tak narůstají exponenciálně: $a \sim \exp(H t)$. Průměrná hustota běžné látky i temné látky klesá úměrně $\rho \sim \exp(-3 H t)$, teplota RZ $T \sim \exp(-H t)$.
- V minulosti zde byla mnohem drastičtější éra inflace: hustota tehdejší temné energie – pseudovakua, byla o mnoho řádů větší. Překotné rozpínání se v důsledku podchlazení zastavilo v okamžiku fázového přechodu TE na normální látku, z níž jsme složeni. Je možné, že i sám velký třesk byl obdobným aktem, k stvoření vesmíru by bylo potřeba jen pár kg hmoty s vlastnostmi TE.
- Odporují snad vlastnosti temné energie zákonům fyziky, OTR, zákonu zachování energie? Nikoli . Je čas o ní začít mluvit veřejně a otevřeně. Zaslouží si to, stejně jako temná látka.



JEDINÉ, CO VE VESMÍRU NEEXPANDUJE,
JE MŮJ PLAT!

(Podle *Mercury* May-June 1981, 88.)

Co všechno nám temná hmota dala a vzala?

- **Iluzi**, že máme zmapovány všechny formy hmoty ve vesmíru. Skutečností je to, že nyní již sice víme o existenci převažujících složek jako je temná energie a temná látka, jejich fyziku však známe jen rámcově a povrchně. To však neznamená, že by se aspoň zmínka o nich neměla dostat do základních kurzů fyziky na všech typech škol.
- Gravitační tmel **temné látky** v minulosti umožnil, že se hvězdy sdružily do galaxií a ty pak do kup, nadkup a buněk. Jí vděčíme za to, že se v galaxiích mohly začaly vznikat i hvězdy další generace, jako je třeba naše Slunce.
- **Temná energie** nám pomohla pochopit celkový vývoj vesmíru a odstranit tíživé **paradoxy horizontu a staří** vesmíru a hvězd v něm.
- **Temné energii** vděčíme za většinu hmoty ve vesmíru a jeho rozlehlost. Hustota dnešní temné hmoty je naštěstí natolik nízká, že i přes neustálou akceleraci vesmíru dává životu v něm ještě několik miliard let, a to věru není málo.