

Tři názory na Kosmologickou konstantu :

- a) V.Hálův
- b) P.Kulhánkův
- c) V.Ullmannův

a) Vojta Hála

□ Zaslal: po, 14. září 2009, 18:00 Předmět:



Paul napsal:

Má kosmologická konstanta vliv na geometrii vesmíru? A pokud ano, jaký?

Nevím, jestli současná věda vůbec zná přesný význam kosmologické konstanty. **Věda ano, ale blbec z Xenemünde neví co věda ví...**

Já mám **dojem**, (**dojmy jsou na Aldebaranu moderátorem zakázány**) že nějak přímo souvisí s temnou energií a tudíž přispívá k celkové hmotě vesmíru. Čili ovlivňuje **nějak** to, jestli je nebo není překročena kritická hustota. **Ale víc o tom asi říct nedokážu**, **ví hovno tento mamrd, ale kecat do všeho a poučovat všechny to umí, a zásadně tvrdě** kosmologie není můj šálek čaje. **ale flusat na lidi to už jeho šálek čaje je.**

b) Kulháněk :

Kosmologická konstanta je koeficient úměrnosti v Einsteinových rovnicích OTR u členu, který je lineární v metrickém tenzoru (člen $\Lambda g_{\mu\nu}$). V původních rovnicích tento člen vůbec nebyl, po objevu Fridmanova řešení ho Albert Einstein zavedl, aby rovnice OTR poskytovaly stacionární řešení pro vesmír. V té době mnoho lidí (včetně A. Einsteina) věřilo, že vesmír je neměnný v čase. Po objevu Hubbleova rozpínání vesmíru Albert Einstein tento člen z rovnic opět vyškrtl a prohlásil, že šlo o největší omyl jeho života. Dnešní doba znamená velkou renesanci kosmologické konstanty. Člen úměrný metrickému tenzoru do rovnic skutečně patří, je však způsoben **kvantově polními projevy vakua** a jeho původ je v kvantových procesech. Na velkých měřítcích se člen projevuje jako jakási "odpudivá" gravitace, nebo chcete-li záporný tlak. K hustotě vesmíru způsobující jeho zakřivení přispívá záření, látka a kvantové efekty (člen s kosmologickou konstantou)

$$\Omega \equiv \rho/\rho_c = \Omega_{\text{rad}} + \Omega_{\text{látky}} + \Omega_{\Lambda}.$$

Dnešní vesmír se zdá být přibližně kritický ($\Omega = 1,02 \pm 0,02$) a kosmologická konstanta přispívá hodnotou (A. G. Riess – 1998, S. Perlmutter – 1999, WMAP 2003)

$$\Omega_{\Lambda} = c^2 \Lambda / 3H^2 \sim 0,73 \pm 0,04 .$$

($\Omega = 1$ a $\varepsilon = 0$ pro plochý vesmír).

c) Ullmann →

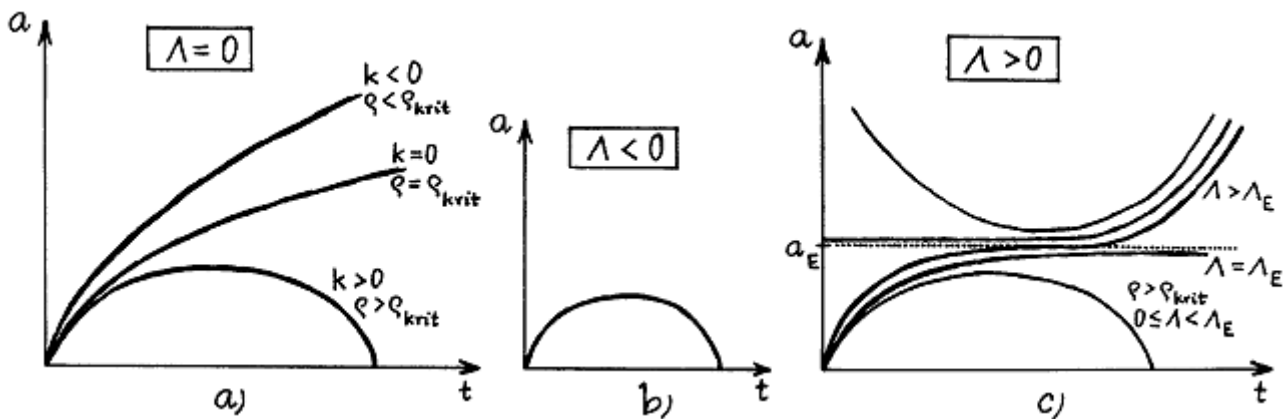
Pohybové rovnice pak vedou po úpravě (včetně vynásobení obou stran c^2) ke dvěma obyčejným diferenciálním rovnicím - **Fridmanovy pohybové rovnice**

$$3 \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{3kc^2}{a^2} - \Lambda \cdot c^2 = \frac{8\pi G}{c^2} T_0^0 = 8\pi G \rho ; \quad (5.23a)$$

$$2 \frac{\ddot{a}}{a} + \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{3kc^2}{a^2} - \Lambda \cdot c^2 = - \frac{8\pi G}{c^2} p , \quad (5.23b)$$

Všimněme si nejprve případu $\Lambda = 0$. Z rovnice (5.23'a) je vidět, že o tom, která z variant $k = 1, 0, -1$ se může realizovat, rozhoduje znaménko $8\pi G\rho/3 - H^2$, tj. vztah mezi hustotou hmoty a rychlostí expanze. Příklad $k = 1$ odpovídající **uzavřenému vesmíru** nastává tehdy, když $8\pi G\rho/3 > H^2$, tj. když střední hustota hmoty ve vesmíru je větší než určitá "**kritická hustota**" ρ_{krit}

$$\rho_{krit} = 3 H^2 / 8\pi G .$$



Obr.5.3. Evoluce kosmologických modelů (časový průběh poloměru a vesmíru) v závislosti na hodnotě kosmologické konstanty Λ a hustotě rozložení hmoty ρ .

(a_E a Λ_E na obr. vpravo značí hodnoty poloměru vesmíru a kosmologické konstanty odpovídající Einsteinovu kosmologickému modelu)

Při zahrnutí **nenulové kosmologické konstanty** Λ se ve vesmíru objevuje navíc určitá **přídavná síla** (odpudivá pro $\Lambda > 0$ a přitažlivá při $\Lambda < 0$), která urychluje nebo zpomaluje rozšiřování nebo smršťování vesmíru. Tato síla nezávisí na hmotnosti a roste se vzdáleností. Z hlediska globální evoluce vesmíru má **efektivní energie vakua**, generovaná kosmologickým členem, důležitou vlastnost (odlišnou od látkové formy hmoty) - **nezřедуje se ani nezhušťuje**

při rozšiřování či smršťování vesmíru, zachovává si konstantní hodnotu. Řešení rovnic (5.23) pak při $\Lambda \neq 0$ vede k následujícím možnostem :

Pokud je $\Lambda < 0$, vždy převáží nakonec přitažlivost a evoluce vesmíru má průběh podle obr.5.3b při libovolném ρ .

Pestřejší možnosti evoluce vesmíru vznikají při $\Lambda > 0$ - jsou znázorněny na obr.5.3c.

Pokud je kosmologická konstanta Λ menší než Einsteinova hodnota (5.15) $\Lambda_E = 4\pi G\rho/c^2$, bude pro nadkritickou hustotu $\rho > \rho_{krit}$ evoluce vesmíru probíhat zhruba (kvalitativně) stejně jako pro $\Lambda = 0$.

Při $\Lambda > \Lambda_E$ se $a(t)$ zvětšuje od nuly do nekonečna, avšak v určité fázi se expanze na čas výrazně zpomalí - dochází k jakési "kvazistatické fázi", během níž jsou přitažlivé síly vyváženy odpudivými ("nerozhodný" vesmír); později převládne síly odpudivé *). Doba trvání T_{st} této kvazistatické fáze (během níž se poloměr křivosti vesmíru udržuje přibližně na hodnotě poloměru Einsteinova statického modelu (5.16) $a = a_E$) je tím delší, čím menší je rozdíl $\Lambda - \Lambda_E$:
 $T_{st} \sim \ln(\Lambda/(\Lambda - \Lambda_E))$.

Při $\Lambda \rightarrow \Lambda_E$ se vesmír dostává do stavu Einsteinova statického vesmíru zmíněného v předchozím odstavci. Tento Einsteinův model je však nestabilní, protože sebenepatrnější perturbace hustoty povede k expanzi.

Pro $\rho > \rho_{krit}$ a $\Lambda = \Lambda_E$ existují dvě další řešení:

1. V nekonečně vzdálené minulosti $t \rightarrow -\infty$ bylo $a = a_E$, v budoucnu pak neomezená expanze;
2. Vesmír vyšel v okamžiku $t=0$ ze stavu $a(0) = 0$, načež expanduje a asymptoticky (v nekonečně vzdálené budoucnosti $t \rightarrow \infty$) dosahuje poloměr $a \rightarrow a_E$.

Pro $\Lambda > 0$ existuje, kromě zmíněných speciálních možností, též řešení, podle něhož při $t = -\infty$ měl vesmír nekonečný poloměr, pak probíhala kontrakce do určité minimální hodnoty a_{min} , načež nastává neohrazená expanze.

Zmíněné zvláštnosti kosmologických modelů s nenulovou kosmologickou konstantou se čas od času používaly (a používají) při pokusech o překonání domnělých či skutečných obtíží relativistické kosmologie (vnitřních potíží i nesrovnalostí s výsledky pozorování).

Kosmologická konstanta

Všimněme si nyní ještě obecné povahy kosmologického členu. Když Einstein zavedl kosmologický člen, umístil jej na **levou stranu** rovnice: $G_{ik} + \Lambda \cdot g_{ik} = (8\pi G/c^4) T_{ik}$, čímž bylo vyjádřeno, že se jedná o (geometrickou) vlastnost samotného prostoru (prostorochasu).

Fyzikální význam kosmologického členu však jasněji vysvětlí po jeho přenesení na **pravou stranu** Einsteinových rovnic

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = (8\pi G/c^4) T_{ik} + \Lambda \cdot g_{ik} \quad , \quad (5.7')$$

tj. z jeho zahrnutí do tenzoru energie-hybnosti hmoty T_{ik} . Uvážíme-li případ vakua $T_{ik} = 0$, je vidět, že $\Lambda \cdot g_{ik}$ představuje jakousi imanentní principiálně neodstranitelnou **křivost prázdného prostoru**, která se uplatňuje i bez jakékoliv hmoty a gravitačních vln (o schopnosti gravitačních vln zakřivovat prostoročas a "imitovat" hmotu viz §2.8 a §B.3); jinými slovy, kosmologický člen vyjadřuje **gravitační účinky vakua**. Jestliže by bylo $\Lambda \neq 0$, znamená to, že vakuum vytváří gravitační pole, jako kdyby bylo (z hlediska běžného přístupu $\Lambda = 0$) zaplněno hmotou s efektivní hustotou $\rho_{kosm} = c^2\Lambda/8\pi G$ a efektivním tlakem $p_{kosm} = -c^4\Lambda/8\pi G = -\epsilon_{kosm}$ (ϵ_{kosm} je efektivní hustota energie této fiktivní hmoty), což odpovídá stavové rovnici $p = -\rho \cdot c^2$.

Kosmologický člen můžeme považovat za projev jakéhosi exotického typu hmoty - **energie vakua**. Ta proniká celým prostorem a spojitě ho vyplňuje určitou **základní hustotou energie**, a to i bez přítomnosti "běžné" hmoty (v látkové formě). Nežředuje se při rozpínání vesmíru, ani se nezhlukuje jako látková hmota, ale zachovává si konstantní hustotu *), přispívající k všeobecné hustotě energie, gravitačně ovlivňující dynamiku evoluce vesmíru.

*) Po pravdě řečeno, takto se chová standardní "geometricky indukovaný" kosmologický člen. Fyzikálně pojatý kosmologický člen by se v zásadě mohl měnit s časem a rovněž v různých oblastech vesmíru by mohl mít jinou hodnotu.

Z hlediska obecné teorie relativity je zavedení kosmologické konstanty jako další nezávislé univerzální přírodní konstanty čistě fenomenologické, i když kosmologický člen může být organickou součástí rovnic pole (§3.5) - zavedení kosmologického členu $\Lambda \cdot g_{ik}$ je jedinou přípustnou úpravou Einsteinových rovnic (2.50) v tom smyslu, že nenarušuje zákon zachování energie $T^{ik}_{;k} = 0$, protože kovariantní 4-divergence tenzoru $R_{ik} - (1/2)g_{ik}R + \Lambda \cdot g_{ik}$ je identicky rovna nule stejně jako u tenzoru $G_{ik} \equiv R_{ik} - (1/2)g_{ik}R$.

Jaká je však **fyzikální podstata** a původ kosmologického členu? Byly činěny pokusy dát Λ do souvislosti s "fyzikou vakua" kvantové teorie pole: kosmologický člen by měl vznikat následkem polarizace a **kvantových fluktuací** vakua. Je to svou podstatou všudypřítomná časoprostorová pěna, čili zvlněný časoprostor, (který může mít chaotickou matematiku, ale i dobře geometricky popsatelnou matematiku = pole, anebo strukturu hmotové elementární částice, mající p o p s a t e l n é vlastnosti), tedy pěnový časoprostor = vakuum „energetické“, z něhož „vyskakují“ „elementy“ = vlnobalíčky hmotové a ty >nemění< své křivosti dimenzí, jsou to jakési „klony“ a jmenují se elementární částice (kvarky, leptony, mezony...) a mají své neměnné vlastnosti, pokud...pokud z příčin jiného druhu se vlnobalíček nezmění na jiný vlnobalíček nebo jiný stav křivosti časoprostoru, což je např. pole. Na Planckově velikostní úrovni (intervalů i časových i délkových) je čp kvantován, což není nic jiného než „snímek pěny do průmětny“ který se podobá „systému“ bod, mezera, bod, mezera...anebo nula a jednička, nula a jednička, atd. „Hladká“ přímka snímaná do průmětny je opět hladká, ale křivá přímka, tedy nějaká sinusovka, sinusovka hrozně moc zvlněná, tak ta sejmutá do průmětny dává zrnitý snímek, čili „kvantovaný“ snímek“, dtto pěna. Každá křivost čp je **principiálním nositelem** nového stavu čp, stavu hmotného (tj. elem.částice nebo energie nebo pole nebo ta pěna = energie vakua) Přímočarý výpočet (resp. dimenzionální odhad) dává však

nepředstavitelně velkou hustotu energie vakua $\rho_{\text{kosm}} > 10^{22} \text{g/cm}^3$. Aby vakuum vypadalo jako prázdný prostor, musejí se uplatňovat dalekosáhlé **kompence** mezi vakuovými fluktuacemi různých polí, které většinu fluktuací vyruší.

Žádné uspokojivé vysvětlení kosmologické konstanty na základě mikrofyzičky zatím neexistuje; určité naděje snad slibují kalibrační unitární teorie pole, kde **spontánní narušení symetrie Higgsova skalárního pole** Higgsovo pole je „jistý zřejmě určitý stav křivosti čp“ který je matematicky popsateľný oproti chaosu. Moje intuice mi říká, že Higgsův boson H v interakci s neutrinem (do)dává, vyrábí graviton... čili v nějaké symbolické zápisové řeči $H \cdot v = g$ by mohlo "generovat" kosmologickou konstantu [113] - viz též §5.5.

Historie kosmologické konstanty je dosti pestrá, názory na její význam se v průběhu vývoje (od počátku 20.let do dneška) silně měnily. Střídala se období, kdy kosmologický člen byl zcela zavrhován (např. po vytvoření Friedmanova modelu expandujícího vesmíru a Hubbleově objevu kosmologického rudého posuvu), s obdobími určité "renezance", kdy kosmologický člen měl vysvětlit domnělá či skutečná fakta (jako byla potřeba prodloužení doby expanze vesmíru při nadhodnoceném odhadu hodnoty Hubbleovy konstanty, nebo později vysvětlení kumulace rudého posuvu kvasarů u hodnoty $z = 1,95$).

Současná astronomická pozorování nepožadují sice $\Lambda \neq 0$, avšak tuto možnost ani striktně nevylučují. Studium mimogalaktických objektů pouze čím dál více omezuje hodnotu kosmologické konstanty (nyní $|\Lambda| < \sim 10^{-55} \text{cm}^{-2}$), aby teorie neodporovala výsledkům pozorování dostupné části vesmíru. Je zřejmé, že laboratorní stanovení tak nepatrné hodnoty Λ je zcela beznadějně. I tak malá kosmologická konstanta by však mohla výrazně ovlivnit stavbu a vývoj vesmíru jako celku. V zájmu objektivnosti je proto třeba na možnost $\Lambda \neq 0$ pamatovat a při studiu globálních vlastností vesmíru kosmologický člen brát v úvahu. V poslední době se navíc ukazuje, že kosmologický člen by mohl hrát významnou roli v nejranějších fázích vývoje vesmíru, kdy se projevovaly efekty kvantové teorie pole a jednotnost fundamentálních interakcí - kosmologická konstanta mohla být "hnací silou" **inflační expanze vesmíru**, jak bude ukázáno v §5.5.

*) Současná poznámka: Podle posledních astronomických pozorování vzdálených supernov se vyskytly určité indicie, že v současné době dochází ke **zrychlování expanze vesmíru**, že kromě temné (nezářící) látky se ve vesmíru vyskytuje i tzv. **temná energie**, která vykazuje "antigravitaci". Zdá se tedy, že evoluce vesmíru probíhá pod vlivem kosmologické konstanty $\Lambda > 0$ (viz §5.6 "Budoucnost vesmíru.Šipka času.", pasáž "[Temná energie a akcererovaná expanze vesmíru](#)").