Posudok na dizertačnú prácu Petra Kašpara

Inhomogeneous cosmology and averaging methods

Po objave zrýchľovania vesmíru v polovici 90-tych rokov kozmológovia vrátili do teórie kozmologickú konštantu, premenovanú na „tmavú energiu". Objav mal však aj iný, menej viditeľný dôsledok. Istá časť kozmologickej komunity obrátila pozornosť k dovtedy takmer nepovšimnutej otázke, aký vplyv má na vývoj vesmíru na veľkej škále silná nehomogenita v rozdelení látky na malých škálach. Keby sa podarilo objasniť zrýchľovanie vesmíru týmto mechanizmom, odpadla by otázka „čo to vlastne je, tá tmavá energia?", a zároveň by sa vysvetlilo, prečo vesmír prešiel od spomaľovania k zrýchľovaniu zhruba v tom istom čase, keď v homogénnom plyne, ktorý ho zapĺňal, začala vznikať štruktúra. Posudzovaná práca je venovaná tejto málo známej, ale zaujímavej a aktuálnej problematike.

Prvá časť práce (kap. 1 až 4) obsahuje prehľad existujúcej literatáry o metódach ustredňovania nehomogenít vo VTR a presných riešeniach, na ktorých sa tieto metódy testujú. Výklad sa sústreďuje na hlavné myšlienky a hoci je stručný, je z neho jasné, o čo v rozoberaných prácach ide. Ostatne, časť materiálu je známa z učebníc, viď paragrafy 108 (o Isaacsonovom opise gravitačných vĺn na zakrivenom pozadí), 116 (o Bianchiho priestoroch) a 103 (o Lemaîtrovom-Tolmanovom-Bondiho riešení) v knihe Landaua-Lifšica *Teoria polja.* Niektoré miesta výkladu nie sú úplne zvládnuté, ako keď sa pred rovnicami pre Ricciho prúd tvrdí, že parameter β, ktorý v nich vystupuje, je „obvykle kozmologický čas" (podľa článku, na ktorý sa autor odvoláva, je to parameter „d'alembertovského ‚virtuálneho vývoja'"), alebo keď sa lokálne rotačne symetrické priestory charakterizujú ako priestory, v ktorých existuje význačný smer – os symetrie, a vzápätí sa povie, že taký priestor môže mať aj 3-rozmernú grupu symetrií (v prípade, že os symetrie môžeme otáčať; potom však jej smer *nie je* význačný). Niekedy by pochopeniu textu pomohlo, keby bol o niečo podrobnejší, napríklad pri opise ustredňovania pomocou skalárov, keď autor píše, že zo súboru musíme odstrániť „funkcie, ktoré sa dajú odvodiť z rovníc charakterizujúcich daný priestoročas", by bolo vhodnejšie napísať „charakterizujúcich *algebraický typ* daného priestoročasu". (Príslušná pasáž sa vyznačuje pre autora netypicky vysokou koncentráciou chýb z nepozornosti: najprv tvrdí, že zo súboru skalárov musíme v prvom kroku vyradiť „algebraicky *nezávislé* funkcie", a potom stotožní funkcie f a g v statickej sféricky symetrickej metrike.) Celkovo má prehľadová časť solídnu úroveň a čitateľ z nej získa dostatočnú predstavu o tom, čo sa v danej oblasti urobilo, aby si mohol prácu zaradiť do širšieho kontextu.

Jadrom práce sú dva články, ktoré napísal autor spoločne so svojím školiteľom (kap. 5 a 6. Okrem nich autor zaradil do práce aj krátky prehľadový článok, v ktorom zhrnul základné idey týkajúce sa ustredňovania vo VTR a zaviedol Cartanove skaláry. Ten tvorí kap. 7.) V prvom článku sa navrhuje nová, v literatúre dosiaľ neznáma ustredňovacia metóda založená na Cardanových skalároch, v druhom článku sa takisto novým spôsobom zovšeobecňuje obvyklý prístup k ustredňovaniu pochádzajúci od Thomasa Bucherta. Zatiaľ čo prvá metóda je použiteľná na ľubovoľnú metriku, druhá je „ušitá" na lokálne rotačne symetrické priestory. O článkoch možno povedať, že sú napísané v najlepších tradíciach školy prof. Bičáka: sú poučené predchádzajúcimi prácami v danej oblasti, ale nie sú ich mechanickým rozšírením, majú svoj vtip; a čo treba zvlášť oceniť, nezastavujú sa pri formulácii teórie, ale ukazujú, ako funguje, na jednoduchých príkladoch.

Oba články sú obsahovo bohaté, aj ich forma je „užívateľsky priateľská". Akurát trochu trpia tým, že sú podľa všetkého písané pre čitateľa, ktorý pracuje v danom odbore. Takého čitateľa nezmätie, keď nájde rôzne veci označené rovnako (jeden z Cartanových skalárov sa volá Λ rovnako ako kozmologická konštanta, priestorová divergencia vektora e^μ sa volá a rovnako ako škálovací parameter), alebo číta o prachovom riešení s $\rho \propto a^{-3\gamma}$, kde γ je parameter vystupujúci v rovnici $p = (\gamma - 1)\rho$ (asi ide o to nachystať si vzťahy, ktoré sa budú dať použiť aj pri opravných členoch rozvoja $\langle\Lambda\rangle$ v L – lenže tie nie sú $a \propto t^{2/3}$, $\rho \propto t^{-2\gamma}$, ako sa píše v článku, ale $a \propto t^{2/(3\gamma)}$, $\rho \propto t^{-2}$). Čitateľa-nešpecialistu to môže vyvádzať z konceptu, a ešte väčšie problémy môže mať, keď sa dočíta, že ustrednená metrika v prípade s funkciou $R(r,t)$ WKB typu môže byť antidesitterovská (pre takú metriku je funkcia Λ nulová, z čoho plynie, že „rýchlo sa meniaca funkcia" ψ je konštantná), alebo narazí na štandardnú definíciu deceleračného parametra $q = -a\ddot{a}/\dot{a}^2$ bez vysvetlenia, čo sa dosadí za a (zrejme sa využije vzťah $\langle\theta\rangle = 3\dot{a}/a$).

V prehľadovej časti práce sa spomína aj Wiltshirov *timescape*, čo sa dá najskôr preložiť ako „časokrajina". (Autor omylom píše *timescale*.) Zaujímalo by ma, či výskum takého druhu, aký vykonal autor práce so svojím školiteľom, má nejaký súvis s Wiltshirovým prístupom, alebo ide celkom mimo neho.

Posudzovaná práca preukazuje predpoklady autora k samostatnej tvorivej práci. Navrhujem ju uznať za dizertačnú a autorovi udeliť titul PhD.

Bratislava, 11. 8. 14

Vladimír Balek
FMFI UK, Bratislava