

Warszawa 12.11.2016

Prof. dr hab. Jacek Jezierski
Katedra Metod Matematycznych Fizyki
Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Recenzja pracy habilitacyjnej dr. M. Korzyńskiego „Gruboziarniste uśrednianie w ogólnej teorii względności”

Autoreferat do pracy habilitacyjnej dr. Korzyńskiego zaczyna się od krótkiego wprowadzenia, po którym zostały szczegółowo przedstawione wyniki 6 prac, które stanowią jego habilitację. Ponadto w następnym rozdziale są krótko omówione wyniki zawarte w innych publikacjach łącznie z pracą magisterską i doktorską.

Praca habilitacyjna dr. Korzyńskiego składa się z 6 artykułów oznaczonych od H1 do H6. Dotyczy tzw. gruboziarnistego uśredniania czasoprzestrzeni spełniających równania Einsteina. Pozostałe publikacje ponumerowane są od 1 do 7. Muszę przyznać, że jest to ciekawa lektura. Artykuły są powiązane ze sobą tematycznie. Widać w nich jak ewoluowało zrozumienie problemów u habilitanta.

Dr Korzyński interesuje się i ma dużą wiedzę w zakresie modeli kosmologicznych i problemów w nich występujących. Jego oryginalnym wkładem w tym zakresie jest ambitny projekt gruboziarnistego uśredniania w ogólnej teorii względności. W szczególności problem tzw. *backreaction* znajduje tutaj odpowiednie sformułowanie do analizy. Zamiast pracować z wielkościami scałkowanymi po objętości (to ma sens tylko dla skalarów) habilitant wprowadza w sposób geometryczny (kowariantny) i kwazilokalny odpowiednie uśrednienie ekspansji, ścinania i wirowości płynu wypełniającego tę objętość. Metoda oparta jest na jednoznacznym izometrycznym zanurzeniu sfery, która jest tutaj brzegiem obszaru (problem Weyla). Warto tu wspomnieć, że idea ta jest także wykorzystywana przez Yau, Wang i współpracowników do zdefiniowania kwazilokalnej masy.

Dr Korzyński wspólnie z E. Bentivegna stworzył kod numeryczny, który zastosował do opisu ewolucji danych początkowych opisujących pewną niewielką liczbę czarnych dziur. Punktem wyjścia jest odpowiedni czynnik konforemny w 3-wym. metryce, który rozwiązuje wiąź skalarny. Jest to tzw. Wheeler-Lindquist model, a metryka reprezentuje siatkę (kratę) czarnych dziur w kosmologii ze sferyczną topologią (S^3). Wyniki wpisują się w aktualne trendy numeryczne w tej dziedzinie – wielkoskalowe obliczenia problemów kosmologicznych. Ponadto w ostatnich latach „dyskretne modele kosmologiczne” budzą zainteresowanie m.in. Charles Hellaby, George Ellis, Timothy Clifton i Kjell Rosquist pracując nad podobnymi problemami.

Habilitant zbadał również (tym razem analitycznie) graniczny model wynikający z kraty czarnych dziur na S^3 kiedy ich ilość rośnie do nieskończoności. To daje pewne wskazówki do odpowiedzi na fundamentalne pytanie w kosmologii – jaka jest relacja między gładko rozmieszczoną materią (np. w modelu Friedmanna), a aktualnym rozkładem materii i gwiazd we Wszechświecie, który nie jest ciągły.

Następnie skonstruował elegancką rodzinę przykładów niejednorodnych, fraktalnych struktur kosmologicznych, które wykazują *backreaction* w postaci znaczącej różnicy pomiędzy całkowitą energią grawitacyjną a masą spoczynkową materii. Ta różnica może być dowolnie duża, więc hipoteza Walda i współpracowników, że w kosmologii można nie uwzględniać *backreaction* wydaje się być wątpliwa.

Najważniejsze wyniki osiągnięte w cyklu prac H1-H6 to:

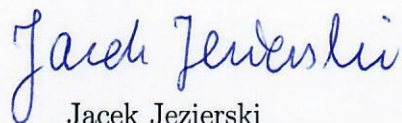
- H1 Przepis na gruboziarniste uśrednianie równań ruchu materii, który byłby alternatywą dla metody Bucherta, a ponadto obejmował tensorową część równań. Twierdzenie o izometrycznym zanurzeniu dwuwymiarowej powierzchni o topologii sfery pozwala na zdefiniowanie gruboziarnistej uśrednionej ekspansji, ścinania i wirowości skończonej porcji płynu w sposób geometryczny. Otrzymane wielkości są kwazilokalne, a konstrukcja wymaga, aby brzeg obszaru, po którym uśredniamy, miał odpowiednią topologię i dodatnią krzywiznę.
- H2-H3 Badanie numerycznej ewolucji sieci czarnych dziur – pionierskie prace H2 i H3.
- H4 Czasowo symetryczne dane początkowe typu Lindquista-Wheelera z dowolną liczbą czarnych dziur oraz dowolnymi położeniami i masami poddane są przejściu granicznemu. Procedura poprzez odpowiednie nierówności odpowiada na pytania: 1. W jakim sensie i pod jakimi warunkami metryka danych początkowych dąży do metryki zamkniętego modelu FLRW w momencie maksymalnego rozszerzenia? 2. Jaka jest różnica między całkowitą masą tego modelu, czyli sumą mas ADM obecnych czarnych dziur, a efektywną masą uzyskaną przez przyporządkowanie mu w odpowiedni sposób gruboziarnisto uśrednionego modelu FLRW? Okazuje się, że istnienie granicy kontinuum nie oznacza automatycznego znikania *backreaction* – tzn. znikania względnej różnicy mas (suma mas czarnych dziur odjąć masę odpowiedniego rozwiązania FLRW). Niezbędny jest dodatkowy warunek na mikroskopowe rozmieszczenie czarnych dziur gwarantujący ich separację. Dodatkowo zakładamy, aby minimalna odległość między dowolną parą czarnych dziur nie spadała zbyt szybko z ich ilością.
- H5 Ścisły model struktury zagnieżdżonej oparty na wielokrotnym zszywaniu Schwarzschilda z jednorodną kulą pyłu (struktura fraktalna) stanowi ważny kontrprzykład dla stosowania formalizmu Greena-Walda. Okazuje się, że w tym przypadku, kiedy zagęszczenia o zadanej skali zawierają w sobie mniejsze struktury, całkowity efekt *backreaction* ma formę sumy wkładów ze wszystkich skal pośrednich. Wielkość tych wkładów jest proporcjonalna do bezwymiarowego parametru zwartości ϵ każdej ze struktur o zadanej skali.
- H6 Ewolucja sieci czarnych dziur wzdłuż krzywych o lokalnej, dyskretnej symetrii obrotowej i odbiciowej inspirowana publikacją Clifton et.al. (Timothy Clifton, Daniele Gregoris, Kjell Rosquist, and Reza Tavakol. Exact Evolution of Discrete Relativistic Cosmological Models. JCAP, 11:010, 2013). Okazuje się, że pełne równania Einsteina wzdłuż tych krzywych sprowadzają się do układu

równań różniczkowych zwyczajnych zawierających w ogólności część magnetyczną tensora Weyla, która nie musi znikać, jak sugerowano w Clifton et.al, a więc równania nie domykają się.

Podoba mi się praca habilitacyjna dr. Korzyńskiego. Podoba mi się również jego postawa jako fizyka zadającego interesujące i odważne pytania. Może tylko drobne wątpliwości budzi samodzielność, bo połowa prac składających się na habilitację ma współautorów. Z drugiej strony samodzielna praca H4 została wyróżniona przez Classical and Quantum Gravity i wyniki w niej opublikowane stanowią wg mnie najważniejsze osiągnięcie habilitanta.

Moim zdaniem przedłożona praca habilitacyjna spełnia wymagania potrzebne do uzyskania tytułu doktora habilitowanego.

Na zakończenie chciałbym dodać, że dr Mikołaj Korzyński jest też dobrym dydaktykiem. Miałem okazję słuchać jego referatów na seminarium, gdzie mogłem się przekonać, że potrafi starannie, w sposób uporządkowany i interesujący opowiadać o swoich wynikach. Ostatnio referował swoje wyniki na seminarium KMMF i jego referat został bardzo dobrze oceniony przez słuchaczy. Ponadto jego aktywny udział w licznych konferencjach i workshopach też jest wart podkreślenia.



Jacek Jezierski