

**Recenzja rozprawy doktorskiej *Joanny Jałmużny*
zatytułowanej *Dynamics of perturbations of*
*three-dimensional Anti-de Sitter spacetime***

Zacznijmy od podsumowania: praca mi się podoba i w mojej ocenie spełnia warunki stawiane doktoratom z matematyki.

Tematyka pracy należy do fizyki teoretycznej, ale ze względu na charakter badań wykonanych w jej ramach można ją zakwalifikować również jak pracę z równań różniczkowych cząstkowych lub/i z matematyki stosowanej. Ja będę ją oceniał właśnie w tym drugim aspekcie, pozostawiając fizykę pozostałym recenzentom.

Z matematycznego punktu widzenia w pracy pani Jałmużny (dalej JJ) nie ma żadnych dowodów. Zostały za to wykonane bardzo nietrywialne symulacje numeryczne równań Einsteina (skalarne perturbacje 3D-czasoprzestrzeni anti-de Sittera), zawierające poza czystą numeryką istotny wgląd matematyczny w naturę badanego przedmiotu. Rozumiem, przez to że nie jest to zwykła symulacja numeryczna jakiegoś równania, a potem opis tego co wyszło bez głębszej analizy rzeczy. Symulacje są tutaj kierowane geometrycznymi (matematycznymi) intuicjami oraz służą weryfikacji czy badaniu pewnych hipotez mających jakościowy charakter, np. kwestia utraty regularności (małe perturbacje), czy rozwiązania zmierzają do czarnej dziury, czyli czy powstają istotne osobliwości (duże perturbacje), czy jak wyglądają rozwiązania 'pomiędzy' tymi zachowaniami - czy mają jakieś uniwersalne cechy, skalowanie itp. Widać, że są to problemy na które naiwna symulacja numeryczna nie odpowie. Oczywiście również badania JJ opisane w tej pracy nie udzielają na nie matematycznej odpowiedzi, ale argumenty przedstawione w pracy JJ mają o wiele solidniejszą bazę. Wydaje się, że jeśli chodzi o studiowane tutaj problemy, to JJ otrzymała następujące konkluzje:

- dla małych perturbacji rozwiązania pozostają regularne, tutaj analiza wyników numerycznych oparta na 'metodzie pasa analityczności' jest dosyć przekonująca,
- dla dużych perturbacji wydaje się, że czarne dziury powstają, ale tutaj trudniej ufać wykonanym obliczeniom,
- dla rozwiązania krytycznego, symulacje nie zgadzają się z pewnymi heurystykami dotyczącymi skalowania, więc wydaje się że tutaj potrzeba trochę głębszej analizy aby zlokalizować powód tej różnicy i zrozumieć jakie jest prawdziwe zachowanie.

W rozdziale 4 jest również opisana próba analitycznych obliczeń dla zagadnienia małych perturbacji 3D anti-de Sittera, praca ta nie została doprowadzona

do żadnych matematycznych konkluzji ze względu na piętrzące się trudności algebraiczne. Jednak symulacje numeryczne przedstawione w pracy pokazują, że opisana aproksymacja do trzeciego rzędu dobrze oddaje zachowanie badanego systemu.

Miałem okazję słuchać JJ na moim seminarium o matematycznych aspektach jej pracy i moje wrażenie było zdecydowanie pozytywne. Materia tutaj badana jest trudna matematycznie a JJ wie o czym mówi.

Zofia Kupińska