

# Thermodynamical aspects of black holes and cosmological horizons in varying fundamental constants theories

*Hussain Gohar,*

*Wydział Matematyczno-Fizyczny, Uniwersytet Szczeciński*

*(31.07.2017)*

## Streszczenie

W niniejszej pracy zastosowano prawa termodynamiki grawitacyjnej do badania horyzontów czarnych dziur i horyzontów kosmologicznych w kontekście teorii ze zmiennymi stałymi fundamentalnymi. W szczególności były teorie ze zmienną stałą grawitacyjną  $G$  oraz ze zmienną prędkością światła  $c$ . W szczególności, w pracy została rozszerzona kosmologia entropowa na przypadek teorii ze zmiennymi stałymi fizycznymi.

Rozważane były trzy nowe scenariusze w których stałe fundamentalne mogą ulegać dynamicznej ewolucji w kontekście kosmologii entropowej. Zostały rozważone równania ruchu dla izotropowego i jednorodnego wszechświata. W każdym z przypadków zbadano konsekwencje zmienności stałych fundamentalnych dla członów entropowych i członów brzegowych, wzajemne relacje termodynamiczne, horyzonty kosmologiczne oraz grawitacja.

W pracy zostało zasugerowane, że kombinacja zmienności stałych fizycznych i członów entropowych (siły entropowej) może grać rolę ciemnej energii. W tym celu przeanalizowana była jedna z trzech klas modeli zakładających wieloskładnikową kompozycję Wszechświata. Ta klasa modeli została poddana weryfikacji obserwacyjnej za pomocą: gwiazd supernowych typu Ia, kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła oraz barionowych oscylacji akustycznych. Znalaziona została dobra zgodność wybranych modeli teoretycznych z obserwacjami. Było możliwe nałożenie ograniczeń na zmienność prędkości światła  $c$  oraz zmienność stałej grawitacyjnej  $G$ .

W końcu w pracy było przedyskutowana również Zasada Maksymalnej Siły (mówiąca o tym, że  $F_{max} = c^4/4G$  w ogólnej teorii względności) w różnych teoriach czarnych dziur, entropowych oraz kosmologicznych. Znalezione zostały kontrprzykłady dla tej zasady. Pojawiają się one w teoriach ze zmieniającymi się stałymi fundamentalnymi, entropowych, zmodyfikowanych modelach entropii czarnych dziur. We wszystkich tych przypadkach Zasada Maksymalnej Siły może być odrzucona przywracając własność grawitacji Newtona, w której siła maksymalna dąży do nieskończoności  $F_{max} \rightarrow \infty$ .



## Abstract

In this dissertation we apply the laws of gravitational thermodynamics to study the black hole and cosmological horizons within the framework of varying physical constants, focusing on varying gravitational constant  $G$  and varying speed of light  $c$  theories. In particular, we extend the entropic cosmology onto the framework of theories with varying constants.

We build up and discuss three new frameworks where such constants are allowed to vary in this context. We first find the equations of motion for the evolution of a homogeneous and an isotropic universe for each case. We discuss the consequences of such a variability onto the entropic force terms and the boundary terms, interrelating thermodynamics, cosmological horizons, and gravity.

We also suggest that the mixing of varying physical constants and entropic force terms might play the role of dark energy. For this purpose, we analyze one of our models assuming a multiple-fluids composition of the universe, using the most updated observational data currently available: Type Ia Supernovae, the Cosmic Microwave Background radiation, and the Baryon Acoustic Oscillations. We find a good agreement of our models with the present observational scenario, and we are able to put constraints on the variation of the speed of light  $c$ , and on the Newton's gravitational constant  $G$ .

In addition to this, we discuss the so-called Maximum Tension Principle (stating that in general relativity  $F_{max} = c^4/4G$ ) in different black hole, entropic, and cosmological theories. We find some counter-examples against the Principle of Maximum Tension conjecture. These include modified entropic cosmological models, varying constant cosmology, and modified entropy definitions of a black hole. In all these cases the Principle of Maximum Tension is abolished, somehow recovering the property of Newton's gravity in which  $F_{max} \rightarrow \infty$ .

