
**Mecanica Cuantica a Orizontului
Evenimentelor
si
Gravitatia "Bootstrapped"
Newtoniana**

Autor:

Dr. Octavian-Nicuser MICU

Rezumat

al tezei submise pentru indeplinirea procesului de abilitare

Institutul de Stiinte Spatiale

Rezumat

Teza intitulata *Mecanica Cuantica a Orizontului Evenimentelor si Gravitatia "Bootstrapped" Newtoniana* este organizata in doua parti. Partea I este dedicata evolutiei propriiei cariere in cercetare stiintifica urmarind principalele teme abordate, in timp ce in Partea II este detaliat parcursul pe care l-am avut in cariera didactica, coordonare si colaboare cu tineri cercetatori, coordonare de proiecte de cercetare si roluri de conducere.

Partea I

In timpul doctoratului la Universitatea din Alabama, SUA am facut cercetare in domeniul non-comutativitatii [1–3]. A urmat un postdoctorat la Universitatea Tehnica din Dortmund, Germania unde am lucrat in domeniul fizicii oscilatiilor neutrinilor [4, 5]. In ultima perioada a postdoctoratului si in primii ani petrecuti la Institutul de Stiinte Spatiale am facut cercetare in domeniul gaurilor negre microscopice in contextul teoriilor cu extra dimensiuni [6–13].

Ulterior acestei perioade m-am implicat in dezvoltarea celor doua directii de cercetare descrise in amanunt si care constituie partea principala a tezei. Aceste rezultate au fost alese pentru a face parte din teza pentru ca perioada curenta reprezinta un moment propice pentru studiul gaurilor negre. Colaborarile Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory si Virgo au masurat cu cativa ani in urma undele gravitationale rezultate in urma coliziunii unor gauri negre, iar la scurt timp dupa aceea Colaborarea Event Horizon Telescope a realizat prima fotografie a gaurii negre supermasive din centrul galaxiei Calea Lactee. Acestea descoperiri au facut ca interesul pentru domeniul fizicii gaurilor negre sa creasca si mai ales impulsioneaza comunitatea stiintifica sa investigheze cu mai multa atentie unele intrebari care sunt fara raspuns pana in acest moment.

Mecanica cuantica a orizontului evenimentelor, model care poate fi gasit in primele articole si sub numele de functia de unda a orizontului evenimentelor, este un model dezvoltat cu scopul de a intelege mai in profunzime in ce mod se influenteaza reciproc pachetele de unda descrise de mecanica

cuantica in prezenta campurilor gravitationale foarte intense, atunci cand efectele gravitatiei nu pot fi neglijate [14–20]. Cel mai bun exemplu pentru astfel de situatii este cazul pachetelor de unde care ajung in vecinatatea orizontului evenimentelor unei gauri negre.

Folosind pachete de unda Gaussiene am evaluat ce se intampla atunci cand doua astfel de pachete de unda se ciocnesc si energia totala in sistemul de referinta al centrului de masa este in domeniul masei Planck, valoare de la care este posibila crearea de gauri negre.

A urmat investigarea cazului in care gaurile negre sunt incarcate electric (cazul metricii Reissner-Nordström). Aici a fost analizata in detaliu atat stabilitatea orizontului interior, cat si posibilitatea existentei unor singularitati care nu sunt ascunse in spatele unui orizont al evenimentelor (naked singularities). De asemenea, a fost studiată o generalizare a principiului nedeterminării care pe langa termenii din forma clasica mai are un termen aditional care poate fi explicat simplist in felul urmator: in timpul absorbtiei unui pachet de unde, raza orizontului evenimentelor creste, iar aceasta crestere poate fi calculata ca fiind proportionala cu energia absorbita. La valori foarte mari ale impulsului comparativ cu masa de repaus, cresterea este de ordinul impulsului pachetului de unda. Din limita de spatiu cazul gaurilor negre in rotatie nu a fost inclus in teza, insa este disponibil in literatura.

Ultima parte a capitolului care detaliaza aceasta directie de cercetare se focuseaza pe studiul evolutiei unor paturi sferice de materie descrise de mecanica cuantica si care atunci cand colapseaza insumeaza energii in domeniul masei Planck.

In toate aceste cazuri concluzia a fost ca, chiar daca teoria clasica a relativitatii generalizate prezice ca masa Planck este o limita inferioara a energiei la care pot fi create gauri negre, daca se tine cont de efecte cuantice probabilitatea aparitiei gaurilor negre este diferita de zero si la energii sub valoarea masei Planck.

Dupa cum se stie, gravitatiea este un fenomen non-liniar. Se poate spune ca aceasta non-liniaritate este foarte accentuata, motiv pentru care investigarea obiectelor foarte compacte este foarte dificila. Rezultatele perturbative din relativitatea generala obtinute pentru campuri gravitationale slabe nu pot fi folosite in campuri gravitationale puternice si in preajma obiectelor foarte compacte. O alta problema mare care apare in campuri gravitationale extreme este aceea a singularitatii centrale care este de asteptat sa fie nefizica si doar un artefact al teoriei generale a relativitatii. Modelele corpusculare ale

gaurilor negre au fost dezvoltate într-o încercare de a rezolva această problemă.

În modelul gravitației "bootstrapped" Newtoniene încercăm o abordare inversă față de tratamentul perturbativ al relativității generale. În acest model pornim de la Lagrangianul Newtonian la care adăugăm termeni de interacțiune: primul dintre aceștia este termenul de "self-coupling" proporțional cu energia gravitațională pe unitatea de volum, al doilea este termenul care ține cont de presiunea statică, iar ultimul fiind termenul de ordin superior care da interacțiunea gravitației cu materia [21–27].

După o privire de ansamblu asupra modelului, în care sunt explicați în detaliu acești termeni urmează o analiză detaliată a stelelor dense și a gaurilor negre în cadrul acestei teorii pornind de la cazul simplu al unei sfere cu densitate uniformă.

Ulterior am studiat generalizarea la cazul unor politrope pentru care s-a luat în considerare un profil de densitate Gaussian. Partea următoare este dedicată unei discuții a relației dintre masa proprie și masa ADM (aceasta din urmă fiind masa pe care ar calcula-o un observator aflat la distanță folosindu-se de exemplu de orbitele stelelor din jurul respectivului obiect).

În ultima parte investigația s-a orientat către cazul coalescenței dintre două stele dense sau gauri negre în același context. O parte a discuției a fost orientată spre termodinamica acestor procese, iar în ultima parte a fost discutat evenimentul GW150914 observat de către colaborarea LIGO.

După câteva concluzii finale, pe lângă concluziile detaliată în fiecare dintre cele două capitole, sunt menționate pe scurt câteva planuri de a extinde aceste cercetări în viitor.

Partea II

Activitatea mea didactică a început în la Universitatea din Alabama, SUA. Acolo am început predând secțiunile de laboratoare pentru diferite cursuri de bază. Ulterior am fost coordonatorul acestor secțiuni la nivelul întregii Facultăți de Fizică și Astronomie. Într-o perioadă în care profesorii de la departament nu puteau acoperi toate secțiunile, datorită creșterii bruște a numărului de studenți, am fost selectat să predau cursuri, cu toate responsabilitățile implicite. În perioada în care departamentul făcea tranziția la o nouă metodă de predare, intitulată "studio physics" și în care cursurile aveau două lucrări de laborator pe săptămână, de-a lungul a două semestre de vară am fost ales responsabil să creez câteva lucrări noi de laborator. Pentru toată activitatea

mea didactica, in 2007 mi-au fost acordate titlurile de "Outstanding Teaching by a Graduate Teaching Assistant" si "Graduate Council Fellowship".

Carierea mea didactica a continuat in Germania la Universitatea Tehnica din Dortmund, unde am predat mai multe seminarii: mecanica cuantica, relativitate generala, introducere in fizica particulelor elementare, etc.

Tot in Dortmund am avut oportunitatea sa colaborez cu unul dintre doctoranzii lui prof. dr. Heinrich Päs, iar articolele rezultate au fost incluse in teza de doctorat a acestuia.

M-am intors in Romania ca director de proiect pentru proiectul de reintegrare "Probing physics beyond the Standard Model with micro black holes and neutrinos", in valoare de € 210,000, proiect care a primit nota **A** la evaluarea ex-post. In cadrul acestui proiect am colaborat cu doi studenti doctoranzi. Doua dintre articolele publicate cu unul dintre acestia au fost incluse in teza lui de doctorat sustinuta in cadrul Universitatii din Bucuresti.

Incepand din 2011 sunt cercetator la Institutul de Stiinte Spatiale in Magurele, iar pozitia mea de cercetare nu include si o norma didactica, dar in aceasta perioada m-am implicat in numeroase activitati de popularizare a stiintei cu scopul atragerii tinerilor catre domenii STEM, in special fizica.

De asemenea, pentru o perioada am fost si presedintele Consiliului Stiintific al Institutului de Stiinte Spatiale.

Sper ca in viitorul cat mai apropiat sa am si oportunitatea de a preda cursuri de fizica la diferite niveluri. De asemenea, sper sa am oportunitatea sa colaborez in continuare cu studenti la master sau doctorat.

In concluzie, in decursul carierei mele am avut ocazia sa imi dovedesc abilitatile didactice, cele de director de proiect, respectiv cele de colaborator al unor studenti si sper ca pe viitor sa am ocazia sa imi pun cunostintele la dispozitia viitoarelor generatii.

Bibliography

1. Casadio, R., Cox, P. H., Harms, B. & Micu, O. Moving mirrors and black hole evaporation in non-commutative space-times. *Phys. Rev. D* **73**, 044019. arXiv: [gr-qc/0510115](#) (2006).
2. Harms, B. & Micu, O. Noncommutative quantum Hall effect and Aharonov-Bohm effect. *J. Phys. A* **40**, 10337–10348. arXiv: [hep-th/0610081](#) (2007).
3. Casadio, R., Grappuso, A., Harms, B. & Micu, O. Boundaries and the Casimir effect in non-commutative space-time. *Phys. Rev. D* **76**, 025016. arXiv: [0704.2251 \[hep-th\]](#) (2007).
4. Hollenberg, S., Micu, O. & Pas, H. Neutrino-antineutrino oscillations as a possible solution for the LSND and MiniBooNE anomalies? *Phys. Rev. D* **80**, 053010. arXiv: [0906.5072 \[hep-ph\]](#) (2009).
5. Hollenberg, S., Micu, O., Pas, H. & Weiler, T. J. Baseline-dependent neutrino oscillations with extra-dimensional shortcuts. *Phys. Rev. D* **80**, 093005. arXiv: [0906.0150 \[hep-ph\]](#) (2009).
6. Casadio, R., Fabi, S., Harms, B. & Micu, O. Theoretical survey of tidal-charged black holes at the LHC. *JHEP* **02**, 079. arXiv: [0911.1884 \[hep-th\]](#) (2010).
7. Casadio, R. & Micu, O. Exploring the bulk of tidal charged micro-black holes. *Phys. Rev. D* **81**, 104024. arXiv: [1002.1219 \[hep-th\]](#) (2010).
8. Casadio, R., Harms, B. & Micu, O. Effect of brane thickness on microscopic tidal-charged black holes. *Phys. Rev. D* **82**, 044026. arXiv: [1003.2572 \[hep-ph\]](#) (2010).
9. Alberghi, G. L., Casadio, R., Micu, O. & Orlandi, A. Brane-world black holes and the scale of gravity. *JHEP* **09**, 023. arXiv: [1104.3043 \[hep-th\]](#) (2011).
10. Calmet, X., Caramete, L. I. & Micu, O. Quantum Black Holes from Cosmic Rays. *JHEP* **11**, 104. arXiv: [1204.2520 \[hep-ph\]](#) (2012).
11. Alberghi, G. L., Bellagamba, L., Calmet, X., Casadio, R. & Micu, O. Charged Black Hole Remnants at the LHC. *Eur. Phys. J. C* **73**, 2448. arXiv: [1303.3150 \[hep-ph\]](#) (2013).

12. Arsene, N., Calmet, X., Caramete, L. I. & Micu, O. Back-to-Back Black Holes decay Signature at Neutrino Observatories. *Astropart. Phys.* **54**, 132–138. arXiv: [1303.4603 \[hep-ph\]](#) (2014).
13. Arsene, N., Caramete, L. I., Denton, P. B. & Micu, O. Quantum Black Holes Effects on the Shape of Extensive Air Showers. *Rom. Rep. Phys.* **69**, 105. arXiv: [1310.2205 \[hep-ph\]](#) (2017).
14. Casadio, R., Micu, O. & Scardigli, F. Quantum hoop conjecture: Black hole formation by particle collisions. *Phys. Lett.* **B732**, 105–109. arXiv: [1311.5698 \[hep-th\]](#) (2014).
15. Casadio, R., Micu, O. & Stojkovic, D. Inner horizon of the quantum Reissner-Nordström black holes. *JHEP* **05**, 096. arXiv: [1503.01888 \[gr-qc\]](#) (2015).
16. Casadio, R., Micu, O. & Stojkovic, D. Horizon Wave-Function and the Quantum Cosmic Censorship. *Phys. Lett.* **B747**, 68–72. arXiv: [1503.02858 \[gr-qc\]](#) (2015).
17. Casadio, R., Giugno, A., Micu, O. & Orlandi, A. Thermal BEC black holes. *Entropy* **17**, 6893–6924. arXiv: [1511.01279 \[gr-qc\]](#) (2015).
18. Casadio, R., Giugno, A. & Micu, O. Horizon quantum mechanics: A hitchhiker’s guide to quantum black holes. *Int. J. Mod. Phys.* **D25**, 1630006. arXiv: [1512.04071 \[hep-th\]](#) (2016).
19. Arsene, N., Casadio, R. & Micu, O. Quantum production of black holes at colliders. *Eur. Phys. J.* **C76**, 384. arXiv: [1606.07323 \[hep-ph\]](#) (2016).
20. Casadio, R., Giugno, A., Giusti, A. & Micu, O. Horizon Quantum Mechanics of Rotating Black Holes. *Eur. Phys. J.* **C77**, 322. arXiv: [1701.05778 \[gr-qc\]](#) (2017).
21. Casadio, R., Lenzi, M. & Micu, O. Bootstrapping Newtonian gravity. *Phys. Rev. D* **98**, 104016. arXiv: [1806.07639 \[gr-qc\]](#) (2018).
22. Casadio, R., Lenzi, M. & Micu, O. Bootstrapped Newtonian stars and black holes. *Eur. Phys. J. C* **79**, 894. arXiv: [1904.06752 \[gr-qc\]](#) (2019).
23. Casadio, R. & Micu, O. Polytopic stars in bootstrapped Newtonian gravity. *Phys. Rev. D* **102**, 104058. arXiv: [2005.09378 \[gr-qc\]](#) (2020).
24. Casadio, R., Micu, O. & Mureika, J. Compact sources and cosmological horizons in lower dimensional bootstrapped Newtonian gravity. *Class. Quant. Grav.* **38**, 065020. arXiv: [2008.13465 \[gr-qc\]](#) (2021).

25. Casadio, R., Kuntz, I. & Micu, O. Approximating compact objects in bootstrapped Newtonian gravity: use of the canonical potential. *Eur. Phys. J. C* **82**, 609. arXiv: [2205.04926 \[gr-qc\]](#) (2022).
26. Casadio, R., Micu, O. & Mureika, J. Newtonian approximation in $(1 + 1)$ dimensions. *Phys. Scripta* **97**, 125304. arXiv: [2205.12229 \[gr-qc\]](#) (2022).
27. Casadio, R., Kuntz, I. & Micu, O. Binary mergers in bootstrapped Newtonian gravity: Mass gap and black hole area law. *Phys. Lett. B* **834**, 137455. arXiv: [2206.13588 \[gr-qc\]](#) (2022).