

# Projeto de Pesquisa

## Análogos em matéria condensada do efeito do despertar quântico

Aluno: Patrick Eli Catach

NºUSP: 858751

patrick.catach@usp.br

Supervisor: George E. A. Matsas

matsas@ift.unesp.br

Instituto de Física Teórica, Universidade Estadual Paulista

Rua Dr. Bento Teobaldo Ferraz 271, Bl. II

01140-070, São Paulo

### **Abstract**

Este projeto de iniciação científica pretende introduzir o estudante em relatividade geral e teoria quântica de campos para que ele possa buscar por análogos em matéria condensada do efeito do despertar de vácuo.

# 1 Introdução

Com o intuito de se analisar efeitos da teoria quântica de campos de baixas energias (abaixo da escala de Planck) na presença de campos gravitacionais, desenvolveu-se um formalismo denominado “Gravitação Semiclássica” também conhecido como *Teoria Quântica de Campos em Espaços-tempos Curvos* (TQCEC). Sua gênese remonta aos fins dos anos 60, quando L. Parker e Ya. B. Zel’dovich desenvolveram um formalismo para analisar a criação de partículas em Cosmologia (veja por exemplo [1]-[2] e suas referências para uma revisão a respeito). Em síntese, a ideia se resume na quantização dos campos em um espaço-tempo de fundo e, em seguida, na análise da retro-ação dos efeitos dos campos sobre o espaço-tempo.

A Gravitação Semiclássica tem se notabilizado por algumas previsões surpreendentes. Um efeito descoberto nesse contexto é o efeito Unruh [3], no qual temos trabalhado amiúde [4] e que revelou que o vácuo de observadores inerciais corresponde a um estado térmico para observadores acelerados, evidenciando o quão dependente de observador é o conceito de partícula elementar. Outro exemplo, que ilustra como a Gravitação Semiclássica pode alterar o cenário clássico, está relacionado com a conjectura do censor cósmico. Todas as tentativas de se gerar singularidades nuas no contexto da Relatividade Geral parecem não funcionar, o que estaria em consonância com o princípio proposto por Penrose de que singularidades nuas são tão imorais para a física clássica, por tornarem imprevisíveis seções inteiras do espaço-tempo, que não deveriam poder existir. Entretanto, não há motivo para se sustentar essa conjectura se favorecermos o ponto de vista de que a física das singularidades, como as que aparecem no interior de buracos negros, será revelada pela teoria de Gravitação Quântica que está por vir. Nesse contexto, singularidades deixariam de ser um anátema e a mesma Gravitação Quântica que as “explicitaria” ofereceria mecanismos para gerá-las. É exatamente isso o que é proposto nas Refs. [5, 6] através de um mecanismo semiclássico específico (mas cujos efeitos de retro-ação carecem ainda serem melhor avaliados). Outros efeitos importantes de Gravitação Semiclássica poderiam ser listados, mas é, sem dúvida, a radiação Hawking [7] o efeito mais paradigmático da área, segundo o qual, buracos negros poderiam evaporar até seu

possível desaparecimento devido à energia irradiada a partir de sua vizinhança para o infinito. Foi com perplexidade que este resultado foi recebido, pois, apesar da constante fundamental  $\hbar$  não estabelecer nenhuma escala de distância acima da qual a Mecânica Quântica não deveria se manifestar, não se esperava que ela fosse capaz de mudar tão drasticamente o comportamento de sistemas macroscópicos como buracos negros.

Apesar da radiação Hawking ter suscitado várias questões conceitualmente importantes ela é astrofisicamente pouco relevante. Buracos negros da ordem de algumas massas solares ou maiores têm uma temperatura Hawking no infinito de frações de grau Kelvin. Mas isso não precisaria ser assim. Fosse, por exemplo, a velocidade da luz alguns milhões de vezes maior, a radiação Hawking seria amplificada de um fator  $\sim 10^{18}$ , em cujo caso teríamos uma real chance de observar esse efeito de gravitação quântica de baixas energias (note-se que a temperatura Hawking envolve as constantes fundamentais  $\hbar$ ,  $G$  e  $c$ ). *“Há uma chance, portanto, muito interessante de que efeitos de gravitação quântica em escalas testáveis com a tecnologia atual possam, em princípio, ser encontrados.”* A última frase foi colocada entre aspas porque foi retirada verbatim de projetos anteriores nossos e, como explicaremos a seguir, acabou se realizando anos depois por um ex-estudante brilhante e atualmente colega do IFSC da Universidade de São Paulo, D. Vanzella, junto com seu então estudante de doutorado, W. Lima.

Assim como placas metálicas alteram a energia do vácuo de fótons, levando ao efeito Casimir medido em laboratório, o campo gravitacional perturba o vácuo quântico de todos os campos. Essa possibilidade foi pouco explorada até a descoberta de Vanzella e Lima provavelmente porque a nova escala espacial introduzida pela presença de estrelas relativísticas é da ordem de  $GM/c^2 \sim 10$  km. São dessa ordem, portanto, os comprimentos de onda dos modos que devem ser perturbados pela presença de estrelas relativísticas, o que não tornaria muito promissora a observação de efeitos gravitacionais tipo Casimir. A título de ilustração, lembramos que, no efeito Casimir tradicional, temos de aproximar as placas metálicas até frações de milímetro se quisermos perturbar modos com frequências altas o suficiente para que o efeito possa ser mensurável em laboratório. A despeito disso, recentemente foi mostrado [8] que, se abrimos mão da estaticidade, a energia do vácuo quântico pode crescer exponencialmente, levando possivelmente à

desestabilização de algumas estrelas de nêutrons [9]. Assim, ao contrário da radiação Hawking, o efeito do despertar do vácuo teria, em princípio, consequências dramáticas para a astrofísica. O qualificativo *em princípio* foi introduzido porque, assim como se percebeu posteriormente, sempre que a estrela for instável quanticamente, ela também o será classicamente e, portanto, no frigidar dos ovos, o efeito do despertar do vácuo não será essencial para se estudar a instabilidade de estrelas de nêutrons na presença de campos que dão origem ao despertar do vácuo.

## 2 Plano de Trabalho

O presente projeto pretende dar atenção especial para o efeito do “despertar do vácuo” [8] no contexto de matéria condensada. A história é testemunha do quanto teoria quântica de campos fundamentais já se beneficiou de métodos de teoria de campos desenvolvidos na análise de problemas de matéria condensada, sendo o mecanismo de Higgs possivelmente um dos melhores exemplos. Mais recentemente, contudo, a rota inversa também tem se mostrado promissora com a obtenção de efeitos de matéria condensada análogos a fenômenos de gravitação como a radiação Hawking [10]-[12]. Este projeto terá como objetivo final a busca de efeitos em matéria condensada análogos ao efeito do despertar do vácuo. Já sabemos existirem instabilidades em matéria condensada associadas com modos de fônons cujas amplitudes crescem exponencialmente com o tempo. Tais modos seriam análogos aos modos taquiônicos do efeito do despertar do vácuo (a escolha do adjetivo *taquiônico* tem origem histórica e nada tem a ver com quebra de causalidade ou algum outro fenômeno exótico), mas há ainda muita coisa a se entender no caso de matéria condensada como, e.g., como a energia do vácuo se redistribui no sistema.

Conheço o Sr. Patrick Eli Catach há vários meses como seu orientador informal de Iniciação Científica e posso afirmar que ele tem mostrado comprometimento e dedicação. Não tenho dúvidas que a permanência do Sr. Catach no grupo será muito benéfica para ambas as partes. O cronograma sugerido segue abaixo.

Table 1: **CRONOGRAMA**

	R. Geral	T. Q. Campos (TQC)	T. Q. C. em M. Condensada
2016 (2 <sup>o</sup> semestre)	X		
2017 (1 <sup>o</sup> semestre)	X	X	
2017 (2 <sup>o</sup> semestre)		X	X
2018 (1 <sup>o</sup> semestre)			X

## References

- [1] N. D. Birrell e P. C. W. Davies, *Quantum Field Theory in Curved Space*, (Cambridge University Press, Cambridge, 1982.) S.A. Fulling, *Aspects of Quantum Field Theory in Curved Space-Time*, (Cambridge University Press, Cambridge, 1989).
- [2] P. C. W. Davies, *Chaos* **11**, 539 (2001).
- [3] W. G. Unruh, *Phys. Rev. D* **14**, 870 (1976).
- [4] L. C. B. Crispino, A. Higuchi e G. E. A. Matsas, *Rev. Mod. Phys.* **80**, 787 (2008).
- [5] G. E. A. Matsas, A. R. R. da Silva, *Phys. Rev. Lett.* **99**, 181301 (2007).
- [6] G. E. A. Matsas, M. Richartz, A. Saa, A. R. R. Silva e D. A. T. Vanzella, *Phys. Rev. D* **79**, 101502 (2009).
- [7] S. W. Hawking *Nature* **248**, 30 (1974); S. W. Hawking *Commun. Math. Phys.* **43**, 199 (1975).
- [8] W. C. C. Lima D. A. T. Vanzella, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 161102 (2010)
- [9] W. C. C. Lima, G. E. A. Matsas e D. A. T. Vanzella, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 151102 (2010)
- [10] W. G. Unruh, *Phys. Rev. Lett.* **46**, 1351 (1981).
- [11] W. G. Unruh, *Phys. Rev. D* **51**, 2827 (1995).
- [12] M. Visser, *Class. Quan. Grav.* **15**, 1767 (1998).