

Justificativa para a abertura de uma vaga MS-3 na área de

Teoria Quântica de Campos e Cordas (TQCC)

Grupo de TQCC do DFMA (J. Frenkel, V. Rivelles, A. Silva, D. Trancanelli)

1) Justificativa científica

A *teoria quântica de campos (TQC)*, cujo desenvolvimento foi iniciado em meados do século passado, é um dos pilares da física moderna e ocupa uma posição central no nosso entendimento da Natureza [1]. Primeiramente, nos proporciona a melhor descrição que temos das leis fundamentais da física, como as interações eletro-fracas e forte, que juntas formam o Modelo Padrão das partículas elementares. Em particular, a teoria quântica de campo do eletromagnetismo, a QED, além de representar a fundamentação teórica completa de toda a física atômica e da química, produziu previsões teóricas de observáveis físicos com uma precisão espantosa, nunca vista antes na história da física. Ao mesmo tempo, a TQC representa também uma das ferramentas mais úteis e poderosas a nossa disposição na abordagem de sistemas complexos, como os encontrados na física da matéria condensada. Basta lembrar as conexões com problemas de muitos corpos que surgem, por exemplo, na teoria dos metais, da supercondutividade, do efeito Hall quântico, e assim em diante, todas descritas na linguagem da TQC. Aplicações mais recentes da TQC se encontram também na cosmologia e no estudo da matéria escura e da energia escura. Além da relevância que a TQC tem em física, é também central a relevância dela na matemática e na física matemática, em particular em relação à geometria e à topologia [2].

A TQC nasceu do casamento da mecânica quântica com a teoria da relatividade especial, tratando as partículas como excitações de um campo que permeia todo o espaço-tempo. Esse tratamento tem consequências surpreendentes e importantes, como a existência de partículas idênticas e o fenômeno da estatística quântica, a existência das antipartículas, a possibilidade de criar e destruir partículas e a interpretação das forças como troca de partículas mediadoras. Uma outra característica peculiar da TQC é a necessidade de tratar com sistemas com um número infinito de graus de liberdade. Esse fato levou ao desenvolvimento, inicialmente no contexto da física das altas energias, de uma técnica de regularização de integrais divergentes, a chamada *renormalização*. O conceito de renormalização se revelou em um segundo momento [3] central no entendimento das transições de fase e dos fenômenos críticos em física estatística,

demonstrando mais uma vez o profundo entrelaçamento entre essas áreas de pesquisa aparentemente distintas e o poder unificador da linguagem da TQC.

Apesar de todos esses sucessos, é evidente porém que a TQC não pode nos fornecer uma descrição completa de todas as interações do Universo, por sua incapacidade de lidar com a gravitação. A nossa melhor teoria da gravitação, a relatividade geral de Einstein, é de fato incompatível com as leis quânticas que regem a TQC. A busca de uma teoria unificada das leis fundamentais do Universo, incluindo a gravitação, sempre foi um Santo Graal da física teórica, que tem hoje na chamada *teoria das cordas (TC)* o seu principal candidato [4]. De fato, podemos ver a teoria de cordas como uma estrutura (ou 'framework') mais ampla, que inclui a TQC, e que podemos chamar de *teoria quântica de campos e cordas (TQCC)*. Esta teoria é baseada na hipótese de que os blocos fundamentais da Natureza não são partículas puntiformes mas sim cordas e membranas e que as partículas emergem como modos de vibração desses objetos estendidos.

Em uma das consequências mais surpreendentes e revolucionárias da TC, descobriu-se [5] que certas TQCs codificam todas as informações acerca da TC e vice-versa. Este conjunto de ideias é conhecido como *holografia* ou *dualidade TQC/TC* ou *correspondência AdS/CFT*. A holografia foi responsável por um enorme avanço em nossa compreensão da gravitação quântica, da própria teoria de cordas e de outras áreas da física. Por um lado, como a teoria de cordas contém a teoria da gravitação, essa dualidade representa uma ferramenta extremamente poderosa para compreender os efeitos quânticos da gravitação, como a evaporação de buracos negros e os primórdios do Universo. Por outro lado, a dualidade foi aplicada no estudo de sistemas de TQC fortemente correlacionados, difíceis de tratar com os métodos tradicionais da TQC, como expansões perturbativas. Mais especificamente, grupos importantes de pesquisa ao redor do mundo vêm aplicando métodos holográficos ao estudo de sistemas fortemente correlacionados, tanto em física nuclear, como o plasma de quarks e glúons produzido no espalhamento relativístico de íons pesados [6], quanto em física da matéria condensada [7]. Mais recentemente, houve aplicações de grande interesse na área geral de 'quantum matter', na confluência da física gravitacional, da informação quântica e da física da matéria condensada, tentando entender a Natureza última do espaço-tempo em termos de emaranhamento quântico [8].

A área da TQCC é uma das mais ativas e transversais da física teórica, como as considerações acima tentaram demonstrar, e os principais grupos de pesquisa do mundo têm grandes contingentes de pesquisadores trabalhando nesta área. Os últimos anos viram também iniciativas privadas, como as da Simons Foundation, para o financiamento de grandes projetos de pesquisa na área [9], como, por exemplo, as iniciativas voltadas ao estudo da interface entre holografia, informação quântica e quantum matter (*It from*

Qubits), à solução de teorias de campos usando critérios de auto-consistência (*The Non-perturbative Bootstrap*), ao estudo da cosmologia do Universo primordial no contexto da teoria de cordas (*Origins of the Universe*).

A perspectiva para os próximos anos é que essa área continue sendo de grande importância, como tem sido nas últimas décadas. A contratação de um professor doutor trabalhando nesta área no IFUSP representaria portanto algo extremamente desejável, até necessário vistas as considerações mais abaixo.

Desde a fundação do DFMA, em 1977, a TQC tem sido uma das principais áreas de pesquisa do departamento. Ao longo dos anos, buscou-se sempre contratar docentes que agregassem novas linhas de pesquisa em TQC acompanhando o desenvolvimento da área a nível internacional. Esta política de contratação tornou o Departamento líder nessa área de pesquisa, atraindo alunos de alto nível para a pós-graduação além de pós-doutores extremamente qualificados.

Uma contratação na área da TQCC não implicaria a necessidade de melhorias da infra-estrutura do IFUSP. Para o trabalho teórico é de fato suficiente, em grande parte, um notebook conectado à internet ou, às vezes, o acesso a clusters de computadores, já disponíveis na USP, para computações mais intensivas. Um professor contratado na área poderia portanto continuar a desenvolver a própria pesquisa de imediato, sem a necessidade de montar um laboratório.

2) Outras justificativas

Historicamente a área de TQCC tem estado concentrada no DFMA, onde conta atualmente com 4 docentes. Porém dois deles (Frenkel e Silva) atingirão a idade de aposentadoria compulsória em breve. A situação é ainda mais urgente, dado que um terceiro membro do grupo (Trancanelli) está afastado por dois anos com emprego permanente fora do país, com a perspectiva de não retornar à USP. Portanto consideramos que é necessária a contratação de pelo menos mais um docente nessa área de pesquisa. Uma contratação em TQCC possibilitaria que o IFUSP mantenha liderança nessa área tão importante da física teórica.

3) Interfaces com grupos do IFUSP

A área de TQCC é uma das mais transversais da física teórica. Há possíveis interfaces com grupos de matéria condensada, física nuclear, ótica quântica e informação quântica, além, é claro, dos grupos de física matemática e física das partículas elementares. Pesquisadores nessas áreas, de fato, usam a linguagem da teoria quântica

de campos e, às vezes, as ferramentas fornecidas pela teoria de cordas (como, por exemplo, às aplicações da holografia no estudo de sistemas fortemente correlacionados em física nuclear e da matéria condensada, mencionadas acima).

4) Sugestão para o edital de um possível concurso

Seguindo o esquema, que se revelou muito bem sucedido, de concursos recentes, propomos que um eventual concurso na area de TQCC se articule em três provas orais:

- a) julgamento do memorial com prova pública de arguição (peso 4);
- b) prova didática (peso 3);
- c) prova do projeto de pesquisa (peso 3).

A prova didática versará sobre o programa das disciplinas de Mecânica Quântica I (4302403) e Mecânica Quântica II (4302404). O concurso poderá ser realizado em português ou inglês.

5) Outras fundamentações

Acreditamos que será possível atrair um bom número de candidatos competitivos, do Brasil e de fora do país. Como já discutido acima, a area de TQCC é uma das mais ativas em física teórica e há uma grande comunidade de jovens pesquisadores que trabalham na área e estão à procura de emprego permanente. Para ter uma ideia mais quantitativa, em duas chamadas recentes (2017 e 2018) para posições de pós-docs FAPESP nessa area, recebemos, em media, acima de 20 candidaturas competitivas, do Brasil e de fora, incluindo candidatos da Europa e dos EUA. Na recente chamada USP/ CAPES para pesquisadores em instituições no exterior também recebemos 5 candidaturas extremamente competitivas.

Referências

[1] Uma revisão concisa das idéias e sucessos da TQC pode ser encontrada em F. Wilczek, *Quantum field theory*, Rev. Mod. Phys. 71, S85 (1999), [hep-th/9803075].

[2] Ver, por exemplo, o material do curso no Institute for Advanced Study em Princeton *Quantum Fields and Strings: A Course for Mathematicians. Vol. I and II*, American Mathematical Society and Institute for Advanced Study, 2000.
<https://www.math.ias.edu/qft>

[3] Ver, por exemplo,
K. G. Wilson and J. B. Kogut,
The Renormalization group and the epsilon expansion,
Phys. Rept. 12, 75 (1974).

[4] Ver, por exemplo, o livro texto clássico
J. Polchinski,
String Theory I and II,
Cambridge University Press, 1998.

[5] A ‘revolução’ holográfica foi iniciada em
J. M. Maldacena,
The large N limit of superconformal field theories and supergravity,
Adv. Theor. Math. Phys. 2, 231 (1998), [hep-th/9711200].

[6] Uma revisão das aplicações da holografia à QCD e aos plasmas de quarks e glúons pode ser encontrada em
J. Casalderrey-Solana, H. Liu, D. Mateos, K. Rajagopal and U. A. Wiedemann,
Gauge/String Duality, Hot QCD and Heavy Ion Collisions,
Cambridge University Press, 2014, [arXiv:1101.0618 [hep-th]].

[7] Uma revisão das aplicações da holografia à física da matéria condensada pode ser encontrada em
J. Zaanen, Y. W. Sun, Y. Liu and K. Schalm,
Holographic Duality in Condensed Matter Physics,
Cambridge University Press, 2015.

[8] Ver, por exemplo, o material da escola *It from Qubit* organizada pelo Perimeter Institute for Theoretical Physics em 2016
<https://www.perimeterinstitute.ca/it-qubit-summer-school/it-qubit-summer-school-resources>

[9] <https://www.simonsfoundation.org/collaborations#mathematics-physical-sciences>