

FMA/032/2021/IF

JCAB/ccbn

São Paulo, 14 de outubro de 2021.

Prezado Senhor Presidente,

Por meio desta reencaminhamos o conteúdo do Ofício FMA/016/2020/IF, de maio de 2020, contendo proposta para um novo claro a nível MS-3 na área de Teoria Quântica de Campos e Cordas, em concordância com as diretrizes apresentadas pela CPq-IF em carta datada de 12 de maio de 2020 e dirigida à comunidade do IFUSP.

Atenciosamente,



Prof. Dr. **João Carlos Alves Barata**
Chefe do Departamento de Física Matemática

Ilmo. Sr.

Prof. Dr. Oscar J. P. Éboli

Presidente da Comissão de Pesquisa

IFUSP

FMA/016/2020/IF
JCAB/ccb

São Paulo, 25 de maio de 2020.

Prezado Senhor Presidente,

Por meio desta, encaminhamos à Comissão de Pesquisa do IFUSP (CPq-IF) proposta para um novo claro a nível MS-3 na área de Teoria Quântica de Campos e Cordas, em concordância com as diretrizes apresentadas pela CPq-IF em carta datada de 12 de maio de 2020 e dirigida à comunidade do IFUSP.

Atenciosamente,



Prof. Dr. **João Carlos Alves Barata**
Chefe do Departamento de Física Matemática

Ilmo. Sr.
Prof. Dr. Adriano Mesquita Alencar
Presidente da Comissão de Pesquisa
IFUSP

Justificativa para a abertura de uma vaga MS-3 na área de
Teoria Quântica de Campos e Cordas

Apresentamos argumentos para a abertura de um concurso a nível MS-3 na área de Teoria Quântica de Campos e Cordas (TQCC) no IFUSP. A proposta aqui apresentada conta com o apoio de pesquisadores atuantes especificamente na área de TQCC no IFUSP, listados adiante, e do Departamento de Física Matemática.

São Paulo, 25 de maio de 2020.

Justificativa científica.

A Teoria Quântica de Campos (TQC), cujo desenvolvimento foi iniciado na segunda década do século passado, é um dos pilares da Física Moderna e ocupa uma posição central na nossa compreensão da Natureza [1]. Ela fornece-nos a melhor descrição que temos das leis fundamentais da Física, isto é, das interações eletro-fraca e forte, que juntas formam o Modelo Padrão das partículas elementares.

Em particular, a Teoria Quântica de Campos do Eletromagnetismo, a QED, além de prover 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 das Ciências. Ao mesmo tempo, a TQC é também uma das ferramentas mais úteis e poderosas à 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, na supercondutividade, no efeito Hall quântico, e outros sistemas, todos descritos na linguagem da TQC.

Aplicações mais recentes da TQC se encontram também na Cosmologia, em particular, 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, com uma forte relação com áreas como Análise, Geometria, Topologia e Álgebras de Operadores [2].

A TQC nasceu em meados da década de 20 do século passado, quando Born, Heisenberg, e Dirac mesclaram a Mecânica Quântica com a Teoria da Relatividade Especial, tratando partículas como excitações de campos que permeiam todo o espaço-tempo. Esse tratamento teve 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 envolvendo um número infinito de graus de liberdade. Esse fato levou ao desenvolvimento, inicialmente no contexto da Física das Altas Energias, de uma técnica para tratar de integrais divergentes, o procedimento de renormalização. O conceito de renormalização revelou-se, em um segundo momento, central no entendimento das transições de fase e dos fenômenos críticos da Física Estatística [3], 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 os sucessos, tornou-se evidente, porém, que a TQC tradicional não pode fornecer uma descrição completa de todas as interações da Natureza, por sua limitação em descrever fenômenos quânticos da 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 considerar a teoria de cordas como uma estrutura 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.

Uma das consequências mais surpreendentes e revolucionárias da TC é que certas TQCs codificam todas as informações acerca da TC e vice-versa [5]. 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 serem tratados com os métodos tradicionais da TQC que envolvem expansões perturbativas. Mais especificamente, diversos grupos 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 TQCC é atualmente uma das áreas mais ativas e transversais da física teórica, como descrito acima, e diversos 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 autoconsistência (“*The Non-perturbative Bootstrap*”), ao estudo da cosmologia do Universo primordial no contexto da teoria de cordas (“*Origins of the Universe*”).

Considerações históricas.

No IFUSP, a pesquisa em Teoria Quântica de Campos iniciou-se entre as décadas de 50 e 70 do século passado sob a liderança dos Profs. Jayme Tiomno e Jorge André Swieca. A TQC tem sido uma das principais áreas de pesquisa do Departamento de Física Matemática (DFMA) desde sua fundação, em 1977, sem ser exclusiva deste. Ao longo dos anos, buscou-se sempre contratar docentes que agregassem novas linhas de pesquisa em TQCC acompanhando o desenvolvimento da área a nível internacional. Esta política de contratação tornou o DFMA líder nessa área de pesquisa, atraindo alunos de alto nível para a pós-graduação além de pós-doutores extremamente qualificados.

Uma nova contratação na área da TQCC não implicaria a necessidade de melhorias da infraestrutura do IFUSP, pois os requisitos de um trabalho eminentemente teórico são mínimos e já existentes no IFUSP. Um professor contratado na área poderia continuar a desenvolver a própria pesquisa de imediato, sem a necessidade de montar um laboratório.

Pesquisadores atuantes na área no IFUSP. Outras justificativas.

Estritamente na área de Teoria Quântica de Campos e Cordas atuam no IFUSP os seguintes pesquisadores: Josif Frenkel (aposentado), Marcelo Gomes (aposentado), Adilson J. da Silva (aposentado), Victor Rivelles, Diego

Trancanelli (afastado) e Fernando T. C. Brandt.

Contamos ainda com vários outros pesquisadores, cuja atuação concentram-se em áreas afins, como Cosmologia, Física das Partículas Elementares, Astropartículas, Física Nuclear, Mecânica Estatística, Matéria Condensada e Física-Matemática, fazendo uso intenso de resultados, métodos e ideias procedentes da Teoria Quântica de Campos e Cordas.

Como a lista acima permite ver, três dos pesquisadores da área, ainda que permaneçam atuantes, atingiram a idade de aposentadoria. Dentre os pesquisadores não aposentados listados acima, há dois que já possuem os requisitos para aposentadoria, deixando a área de TQCC numa situação extremamente crítica. A situação torna-se ainda mais premente, dado que o terceiro pesquisador não aposentado está afastado por dois anos com emprego permanente fora do país, e com forte perspectiva de não retornar à USP.

A Figura 1 exhibe o perfil de idades dos nomes acima listados. A idade média desse grupo de pesquisadores perfaz 67 anos, ou 72 se excluirmos o Prof. Trancanelli, números esses que expõem a seriedade da situação.

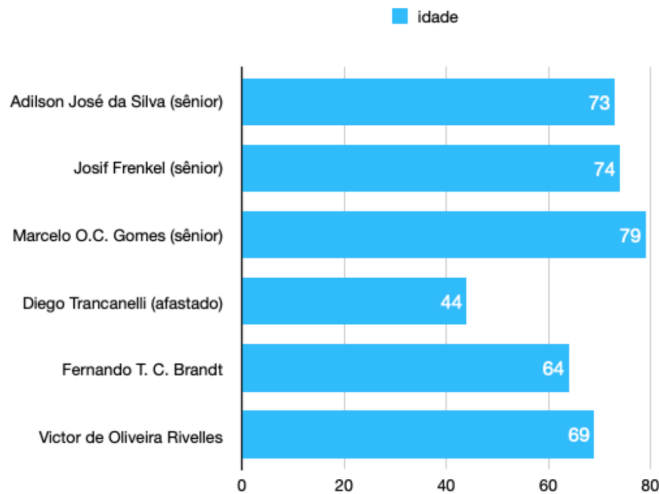


Figura 1: Perfil de idades.

Concluindo, faz-se necessária a contratação **urgente** de pelos menos um

docente nessa área de pesquisa. Uma contratação em TQCC possibilitará que o IFUSP mantenha a liderança nessa área tão importante da Física Teórica.

Interfaces com grupos do IFUSP.

Como descrito acima, a área de TQCC é uma das mais transversais da física teórica, possuindo interfaces com áreas como a Matéria Condensada, a Mecânica Estatística, a Física Nuclear, a Ótica Quântica e a Teoria de Informação Quântica, além, é claro, da Física-Matemática em geral e da Física das Partículas Elementares. Pesquisadores dessas áreas, de fato, usam a linguagem e os instrumentos 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).

Perspectivas de atração de candidatos.

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

Sugestão para o edital de um possível concurso.

Seguindo o formato que se revelou muito bem sucedido em concursos recentes, propomos que um eventual concurso na área de TQCC seja constituído por 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.

Referências

- [1] Uma revisão concisa das ideias 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>