

São Paulo, 22 de fevereiro de 2024

À Comissão de Pesquisa do Instituto de Física

Assunto: PROPOSTA PARA CONTRATAÇÃO DE CLARO DOCENTE NA ÁREA DE NANOFOTÔNICA

Eu, Nathália Beretta Tomazio, com apoio dos pesquisadores do Grupo de Fluidos Complexos (GFCx) e do Laboratório de Manipulação Coerente de Luz e Átomos (LMCAL), hospedados no Departamento de Física Experimental do Instituto de Física da USP, proponho a abertura de um claro docente na área de Nanofotônica. Apresento a seguir a motivação de minha solicitação.

### **1. Justificativa da adição de um docente na área de pesquisa**

A adição de um docente em Nanofotônica no IF contribuirá para formar uma massa crítica de pesquisadores necessária para alavancar a pesquisa nessa área de extrema relevância atual. Trata-se de uma pesquisa que inclui três etapas principais: elaboração do projeto/layout dos dispositivos, nanofabricação e caracterização óptica. Assim, os desafios técnicos e de financiamento envolvidos na nanofabricação e instalação de laboratórios para a caracterização óptica dos dispositivos tornam necessária a união de forças entre docentes atuantes na área para garantir uma pesquisa competitiva em nível internacional. Atualmente no IF, temos apenas uma pesquisadora recém-contratada atuante em Nanofotônica (Profa. Nathália Tomazio), e uma frente de atuação em andamento no LMCAL para o estudo de propriedades quânticas da luz em microcavidades integradas em chip, viabilizada a partir de colaboração internacional com a Profa. Michal Lipson – *Columbia University* (EUA).

### **2. Impacto da contratação no âmbito do Instituto de Física**

O docente contratado poderá atuar no estudo de processos ópticos lineares, não-lineares, opto-mecânicos e plasmônicos em microdispositivos fotônicos, no desenvolvimento de metamateriais e metasuperfícies, na síntese de

nanomateriais para fotônica e no estudo de materiais via técnicas de microscopia de campo próximo. Com isso, o docente estará utilizando conhecimentos de nanofotônica para prover soluções para transição energética, aumento da capacidade de processamento de dados, desenvolvimento de tecnologias quânticas e sensores de alta sensibilidade para aplicações em medicina, meio ambiente e defesa. O alcance multidisciplinar da área, combinado à experiência em nanofabricação do docente, permitirá a ele interagir de forma próxima com vários outros docentes do IF, aumentando a sinergia de pesquisa e abrindo portas para avanços científicos disruptivos na interface de diferentes áreas.

Alguns exemplos de possíveis interações do docente dentro do IF são no desenvolvimento de microdispositivos fotônicos e microfluídicos para aplicações biomédicas (Profs. Nathália Tomazio e Antonio Martins Figueiredo Neto), de tecnologias quânticas (Prof. Marcelo Martinelli), de dispositivos microfluídicos *Rock-on-a-Chip* para investigar interações fluido/rocha (Prof. Caetano Rodrigues Miranda), de microdispositivos que explorem o fenômeno de ressonância plasmônica de superfície para a confecção de biossensores (Prof. Gustavo Canal), de dispositivos optoeletrônicos nanoestruturados para aplicações em fotodetectores e células solares (Profs. Alain Quivy e Germano Penello) e de circuitos sub-micrométricos para estudos de transporte térmico (Profa. Valentina Martelli).

Além disso, o docente fortalecerá a formação de recursos humanos do IF, oferecendo treinamento especializado para estudantes de graduação e pós-graduação em uma área de grande relevância atual.

### **3. Relevância atual da área de pesquisa (nacional e internacional)**

A Nanofotônica, que reúne conhecimentos das áreas de nanotecnologia e fotônica, é um campo de pesquisa atual bastante ativo do ponto de vista de ciência básica e de desenvolvimento de nossas tecnologias. Esta área começou a ganhar destaque significativo a partir dos anos 1990, devido aos avanços na fabricação de materiais e dispositivos em escala nanométrica. A Nanofotônica é dedicada ao estudo da interação da luz com a matéria na escala nanométrica ou sub-micrométrica, e abrange diferentes frentes de atuação, das quais podemos

destacar a física de microdispositivos fotônicos (e.g., microcavidades [1-2], guias-de-onda [3], cristais fotônicos [4-6]), plasmônica [7-8], desenvolvimento de metamateriais [9-10] e metasuperfícies [11-12], engenharia de nanomateriais [13] (e.g., nanopartículas metálicas, nanotubos de carbono, pontos quânticos, etc) e técnicas de microscopia de campo próximo [14]. Essas frentes de pesquisa têm revelado novos mecanismos de manipulação das propriedades da luz, abrindo portas para um número amplo de aplicações em óptica não-linear, optomecânica, eletrodinâmica quântica, (bio)sensores, processamento de sinais ópticos, tecnologias quânticas, fontes de energia renovável, tratamento e diagnóstico de doenças e em ciência dos materiais.

Existem vários grupos de pesquisa proeminentes dedicados à pesquisa em Nanofotônica ao redor do mundo, dentre os quais podemos destacar o *Lipson Nanophotonics Group/Columbia University* (EUA) – Profa. Michal Lipson, *Nanoscale and Quantum Photonics Lab/Stanford University* (EUA) – Profa. Jelena Vuckovic, *Laboratory for Nanoscale Optics/Harvard University* (EUA) – Prof. Marko Lončar, *Laboratory of Photonic integrated circuits and Quantum Measurements/EPFL* (Suíça) – Prof. Tobias Kippenberg, *Capasso Group/Harvard University* (EUA) – Prof. Federico Capasso, *Quantum Optoelectronics Group – ETH Zürich* (Suíça) – Prof. Jérôme Faist, *Institute for Lasers, Photonics and Biophotonics/University at Buffalo* (EUA) – Prof. Paras N. Prasad, *Fiber Photonics/Leibniz Institute of Photonic Technology* (Alemanha) – Dr. Markus Schimdt, *Yale Nanodevices laboratory/Yale University* (EUA) – Prof. Hong Tang, *Paul Weiss Lab/University of California at Los Angeles* (EUA) – Prof. Paul S. Weiss e *School of Physics, Engineering and Technology/University of York* (Reino Unido) – Prof. Thomas F Krauss.

No Brasil, temos grupos atuantes em Nanofotônica, com destacada inserção internacional. São eles: Laboratório de Pesquisa em Dispositivos/IFGW-Unicamp – Profs. Newton Frateschi, Thiago Alegre, Gustavo Wiederhecker, Felipe Barbosa e Pierre Louis, Laboratório do Grupo de Fotônica/IFSC-USP – Prof. Cleber Renato Mendonça, Laboratório de Caracterização de Metamateriais/EESC-USP – Profs. Ben Hur Viana Borges e João Paulo Pereira do Carmo, MackGraphe/Mackenzie – Profs. Christiano de Matos, Lúcia Akemi

Miyazato Saito e Dario Andres Bahamon Ardila, Laboratório de Nanofabricação/IFSC-USP – Prof. Euclides Marega Junior, Laboratório de Nano-espectroscopia/UFMG – Profs. Ado Jório, Luiz Gustavo Cançado e Leandro Malard Moreira, Laboratório de Nanoscopia/UFC – Prof. Antonio Gomes Souza Filho, Laboratório de Amostras Microscópicas/LNLS – Dra. Ingrid D. Barcelos e Laboratório de Fotônica e Biofotônica/UFPE – Profs. Anderson Stevens Leonidas Gomes, Cid Bartolomeu de Araújo, Leonardo de Souza Menezes e Renato Evangelista de Araújo.

Avanços na área de Nanofotônica são comunicados através de diversos periódicos internacionais de grande interesse das comunidades de Física, Óptica e Materiais, tais como *Nature*, *Science*, *Nature Photon.*, *Nature Comm.*, *Physical Review Letters*, *Advanced Optical Materials*, *ACS Photonics*, etc, e são apresentados em conferências promovidas pela *The Optical Society* (OPTICA), e.g., *Conference on Lasers and Eletro-Optics* (CLEO) and *Frontiers in Optics & Laser Science* (FIO+LS), pela *Internacional Society for Optics and Photonics* (SPIE), e.g., *Photonics West* and *SPIE Optics and Photonics*, e pela *Materials Research Society*, e.g., *MRS Meetings*. No Brasil, tivemos recentemente a Escola São Paulo de Ciência Avançada em Nanofotônica (SPSAS 2016) em Campinas – SP, a 10ª edição da *International Conference on Nanophotonics* em Recife – PE (ICNP 2017), e o *Workshop on OptoMechanics and Brillouin Scattering* (WOMBAT 2024) em Campinas – SP, além da *SBFoton International Optics and Photonics Conference* (IOPC) e *International Conference on Optical MEMS & Nanophotonics* (OMN), que vêm sendo realizadas de forma conjunta anualmente.

#### 4. Prognóstico de potenciais candidatos

O concurso na área de Nanofotônica trará a oportunidade de atuação no IF-USP aos egressos dos laboratórios brasileiros anteriormente mencionados, alguns atualmente trabalhando no exterior. Cabe mencionar que Escola São Paulo de Ciência Avançada em Nanofotônica realizada em 2016 no IFGW-Unicamp contou com a participação de 100 estudantes em nível de pós-

graduação, dentre os quais 50 eram brasileiros. Assim, podemos esperar que os participantes deste evento sejam potenciais candidatos ao concurso.

Além disso, as vantagens de financiamento no Estado de São Paulo tornam a vaga atrativa para jovens pesquisadores recém-estabelecidos fora do estado, para a repatriação de talentos recém-emigrados e para a atração de pesquisadores da América Latina.

### **5. Viabilidade de execução de projetos na área de pesquisa**

A etapa de nanofabricação, essencial para a pesquisa em Nanofotônica, requer investimentos massivos para compor uma infraestrutura de sala limpa com equipamentos dedicados à litografia óptica e eletrônica, corrosão, deposição de filmes, processos de escrita a laser, ferramentas de corte de precisão, microscopia eletrônica e de força atômica, etc. Grande parte desses equipamentos estão disponíveis para uso no Laboratório Multi-usuário de Micro e Nano Eletrônica (LAMINA) sediado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Para a atualização e expansão do parque de equipamentos do LAMINA, pode-se contar com o financiamento de agências federais e estaduais, tais como a MCTI/FINEP/FNDCT e a FAPESP, através de chamadas públicas voltadas ao financiamento de centrais multiusuárias. Por exemplo, recentemente, uma equipe científica coordenada por mim submeteu um subprojeto via IF para compor a proposta da USP na CHAMADA PÚBLICA MCTI/FINEP/FNDCT – INFRAESTRUTURA DE PESQUISA – PROINFRA 2023, solicitando a compra de dois equipamentos de micro e nanofabricação de última geração. Além disso, pode-se contar com a infraestrutura de sala limpa disponível no Centro de Componentes Semicondutores e Nanotecnologias (CCSNano) e no Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano), ambos em Campinas – SP. Cabe mencionar que, recentemente, uma equipe científica coordenada pelo Prof. Newton Frateschi do IFGW-Unicamp teve um projeto aprovado na Chamada de Equipamentos Multiusuários para Uso Científico da FAPESP (No 2022/11526-2) para a aquisição de um sistema de nanolitografia por feixe de elétrons de 100 kV para fabricação de alto rendimento de dispositivos com alta precisão. Esse equipamento será instalado no CCSNano.

Outra alternativa muito utilizada para a fabricação de micro/nanodispositivos é a aquisição de chips projetados sob demanda a partir de fábrica de semicondutores especializadas.

Para a instalação do laboratório de caracterização de respostas ópticas, o docente poderá captar recursos da FAPESP via Projeto Jovem Pesquisador e de agências de fomento federais, a depender da situação futura. Outras possibilidades de captação de recursos são através das chamadas públicas de apoio à Ciência do Instituto Serrapilheira, de submissão de propostas para as Agências de Defesa Americanas (*US Army, Air Force, etc*) que apoiam pesquisas realizadas no Brasil, e do vínculo com grandes projetos como CEPIDs, INCTs e Projetos Temáticos FAPESP. Além disso, o novo docente poderá contar com a infraestrutura de instrumentação óptica já existente no GFCx e no LMCAL, acelerando a implementação de seu laboratório.

### **6. Justificativa para atividades de ensino, como também cultura e extensão**

O novo docente poderá atuar em qualquer disciplina do curso de graduação em Física do Instituto, assim como espera-se que ministre disciplinas na pós-graduação. Para fins de um edital, sugerimos o foco nas disciplinas do ciclo básico, ou seja, Física I, II, III e IV (4302111, 4302112, 4302211, 4302212, respectivamente), Física Experimental III e IV (4302213 e 4302214, respectivamente) e Eletromagnetismo (4302303).

O docente poderá contribuir com a difusão da área de Nanofotônica fazendo parte da organização de eventos científicos, tais como a Escola São Paulo de Ciência Avançada com apoio da FAPESP e a SBFoton International Optics and Photonics Conference (IOPC) e International Conference on Optical MEMS & Nanophotonics (OMN), que acontecem anualmente de forma conjunta. Com relação às atividades de extensão, uma possibilidade seria participar de um *Optica/SPIE Student Chapter* para supervisionar estudantes de graduação e pós-graduação, vinculados às sociedades internacionais *Optica* e *SPIE*, na realização de atividades de desenvolvimento profissional e de difusão de ciência e tecnologia na área de Óptica e Fotônica para diferentes públicos.

## Referências:

- [1] K. J. Vahala, "Optical microcavities," *Nature*, vol. 424, no. 6950, pp. 839–846, Aug. 2003, doi: 10.1038/nature01939.
- [2] Q. Xu, B. Schmidt, S. Pradhan, and M. Lipson, "Micrometre-scale silicon electro-optic modulator," *Nature*, vol. 435, no. 7040, pp. 325–327, May 2005, doi: 10.1038/nature03569.
- [3] D. Thomson *et al.*, "Roadmap on silicon photonics," *Journal of Optics*, vol. 18, no. 7, p. 073003, Jul. 2016, doi: 10.1088/2040-8978/18/7/073003.
- [4] J. D. Joannopoulos, P. R. Villeneuve, and S. Fan, "Photonic crystals," *Solid State Commun*, vol. 102, no. 2–3, pp. 165–173, Apr. 1997, doi: 10.1016/S0038-1098(96)00716-8.
- [5] H.-G. Park *et al.*, "Electrically Driven Single-Cell Photonic Crystal Laser," *Science (1979)*, vol. 305, no. 5689, pp. 1444–1447, Sep. 2004, doi: 10.1126/science.1100968.
- [6] A. H. Safavi-Naeini, T. P. M. Alegre, M. Winger, and O. Painter, "Optomechanics in an ultrahigh-Q two-dimensional photonic crystal cavity," *Appl Phys Lett*, vol. 97, no. 18, Nov. 2010, doi: 10.1063/1.3507288.
- [7] W. L. Barnes, A. Dereux, and T. W. Ebbesen, "Surface plasmon subwavelength optics," *Nature*, vol. 424, no. 6950, pp. 824–830, Aug. 2003, doi: 10.1038/nature01937.
- [8] H. A. Atwater and A. Polman, "Plasmonics for improved photovoltaic devices," *Nat Mater*, vol. 9, no. 3, pp. 205–213, Mar. 2010, doi: 10.1038/nmat2629.
- [9] D. R. Smith, J. B. Pendry, and M. C. K. Wiltshire, "Metamaterials and Negative Refractive Index," *Science (1979)*, vol. 305, no. 5685, pp. 788–792, Aug. 2004, doi: 10.1126/science.1096796.
- [10] S. P. Burgos, R. de Waele, A. Polman, and H. A. Atwater, "A single-layer wide-angle negative-index metamaterial at visible frequencies," *Nat Mater*, vol. 9, no. 5, pp. 407–412, May 2010, doi: 10.1038/nmat2747.
- [11] N. Yu *et al.*, "Light Propagation with Phase Discontinuities: Generalized Laws of Reflection and Refraction," *Science (1979)*, vol. 334, no. 6054, pp. 333–337, Oct. 2011, doi: 10.1126/science.1210713.
- [12] W. T. Chen *et al.*, "A broadband achromatic metalens for focusing and imaging in the visible," *Nat Nanotechnol*, vol. 13, no. 3, pp. 220–226, Mar. 2018, doi: 10.1038/s41565-017-0034-6.

- [13] G. Chen, H. Qiu, P. N. Prasad, and X. Chen, “Upconversion Nanoparticles: Design, Nanochemistry, and Applications in Theranostics,” *Chem Rev*, vol. 114, no. 10, pp. 5161–5214, May 2014, doi: 10.1021/cr400425h.
- [14] A. C. Gadelha *et al.*, “Localization of lattice dynamics in low-angle twisted bilayer graphene,” *Nature*, vol. 590, no. 7846, pp. 405–409, Feb. 2021, doi: 10.1038/s41586-021-03252-5.

Coloco-me à disposição para eventuais esclarecimentos.

Atenciosamente,



Nathália Beretta Tomazio