

Proposta de abertura de concurso na área de óptica não-linear em diferentes escalas de tempo

Proponentes: Profs. Drs. Antonio Martins Figueiredo Neto e Cristiano Luis Pinto de Oliveira, membros do Grupo de Fluidos Complexos.

Preambulo

Quando um material interage com feixes de luz de alta intensidade ($\sim 10 \text{ GW/cm}^2$) algumas de suas propriedades são modificadas devido a essa interação. O feixe de luz, por sua vez, tem sua propagação também afetada por essas mudanças nas propriedades do meio material [1]. Esse campo de pesquisa é o da denominada óptica não-linear (NLO em Inglês), que teve seu início na década de 1960 com a invenção do laser. A partir dessa data, feixes de luz coerente e de alta intensidade puderam ser disponibilizados. As pesquisas de natureza fundamental, bem como aplicadas tiveram um desenvolvimento intenso. Como exemplo de aplicações podemos citar a indústria opto-eletrônica e a busca de novos dispositivos fotônicos, com forte impacto nas telecomunicações.

Nos últimos 5 anos (2015-2019), uma pesquisa na WoS com o termo *nonlinear optics* revelou a publicação de mais de 6.500 trabalhos [2]. Não-linearidades ópticas em fluidos complexos, em particular em cristais líquidos, têm sido muito investigadas, revelando propriedades foto-responsivas com potencial uso em dispositivos, como recentemente publicado na *Nature* [3].

Há diversos processos ópticos não-lineares como, por exemplo, a geração de harmônicos, soma de frequências, absorção de dois fótons, mistura de ondas, entre outros. Em todas as Universidades de primeira linha no mundo há grupos fortes em NLO, investigando aspectos tanto de natureza fundamental quanto aplicados. Tópicos de interesse atual nessa área de pesquisa são focos de pesquisa e temas de discussão em congressos internacionais. Dentre eles podemos citar alguns:

- a) *extreme nonlinear optics (high harmonic generation, filamentation, rogue waves)*
- b) *nonlinear nano-photonics (all-dielectric, plasmonics, electron spill-out, nonlocal and quantum effects)*
- c) *low dimensional materials (nonlinear optics in thin films, e.g., graphene and other 2D-materials)*
- d) *low-permittivity media (nonlinear optics in epsilon-near-zero materials)*
- e) *thermodiffusion (small batteries research)*
- f) *quantum-confinement effects in nanocrystals.*

As pesquisas desenvolvidas nesse campo levaram à síntese de compostos e moléculas para serem utilizados em dispositivos de geração de luz coerente de diferentes comprimentos de onda, bem como a síntese de novos materiais com propriedades de absorção de multi-fótons (como a terapia fotodinâmica na medicina, limitadores de potência óptica, entre outros). Foi possível o desenvolvimento da chamada “espectroscopia avançada” e desenho de materiais para possíveis aplicações em telecomunicações e sensoriamento [4].

Dependendo da escala de tempo da interação da luz com a matéria (i.e., duração do pulso de luz), diferentes processos físicos são acionados, podendo ser investigados muitas vezes de forma independente. Na escala de tempo de femtossegundos, processos de natureza eletrônica são evidenciados (e.g., absorção de dois fótons, índice de refração não-linear, susceptibilidade elétrica); na escala de tempo de milissegundos, processos de natureza térmica

podem ser investigados (e.g., efeito termo-óptico); na escala de tempo de segundos, processos termodifusivos têm tempo de se estabelecer nos materiais (e.g., efeito Soret e Dufur, termoeletricidade).

NLO no IFUSP (DFEP)

O Grupo de Fluidos Complexos (GFCx) do IFUSP atua desde 1986 e, mais recentemente, em 1998 iniciou o trabalho em NLO, tendo publicado o primeiro trabalho na área em 1999. Desde aquela época, o único docente do grupo envolvido nesse trabalho é o Prof. Antônio Figueiredo. Atualmente o grupo conta com dois docentes, além do Prof. Figueiredo, o Prof. Dr. Cristiano Pinto de Oliveira, especialista em espalhamento e difração de raios X, outra técnica disponível em nossos laboratórios, recentemente tornada Equipamento Multiusuário FAPESP.

Nosso parque experimental em NLO conta com cinco lasers (Tsunami – Spectra Physics; Chameleon – Coherent; Astrella Ultrafast – Coherent; 2 Verdi CW), além de mesas ópticas, resfriadores e toda a óptica e detectores adaptados a cada tipo de experimento e escala de tempo. Nossos equipamentos possibilitam a realização de experimentos com pulsos de luz de larguras desde 190 fs (com os lasers pulsados) até segundos (com lasers CW com o uso de obturadores mecânicos e *shutter*).

As pesquisas em NLO no grupo estão concentradas em três áreas:

- a) propriedades de materiais nanoestruturados
- b) termodifusão em suspensões coloidais
- c) estudo de fluidos de interesse biológico – NLO em escala de tempo de ms.

Com relação à primeira área, investigamos fenômenos como a absorção de dois fótons e o índice de refração não-linear de soluções coloidais magnéticas (ferrofluidos) em diversas condições experimentais, com e sem a aplicação de campo magnético externo. As partículas têm dimensões da ordem de alguns nanômetros. Em muitos casos também fazemos a síntese desses coloides. Nesse caso, pulsos de duração da ordem de fs são necessários para se obter respostas de natureza eletrônica do material.

Com relação à segunda área, investigamos processos termodifusivos em coloides e soluções de lipoproteínas humanas. Esse fenômeno possui implicações tecnológicas em diversos campos (e.g., confecção de micro baterias, prospecção e extração de petróleo), bem como na identificação e eventual quantificação de diferentes tipos de lipoproteínas [5-8]. Em particular neste último aspecto, há a possibilidade de identificar LDLs aterogênicas presentes no sangue de indivíduos, com implicações importantes tanto no conhecimento básico estrutural dessas partículas, como também em possíveis ações de políticas de saúde pública. Nesses casos, pulsos de duração da ordem das dezenas de milissegundos até alguns segundos são necessários para se obter as respostas ópticas oriundas das distribuições não homogêneas de matéria geradas pelos gradientes de temperatura estabelecidos.

Com relação à terceira área, o grupo tem larga experiência no estudo de soluções de lipoproteínas tanto humanas quanto de animais, em diferentes condições fisiológicas. Nesse tipo de experimento um feixe laser de perfil Gaussiano interage com as amostras e estabelece-se um gradiente radial de temperatura. A partir da refração não-linear tem-se informação tanto da difusividade térmica do material quanto, em determinadas condições, do coeficiente termo-óptico. Mostramos que a amplitude da lente térmica formada em experimentos de Varredura-Z é característica do tipo de LDL presente na solução (i.e., no plasma do paciente). Investigamos diversas situações fisiológicas tanto *in vivo* quanto *in vitro*, de amostras de pacientes diabéticos e portadores de doenças bucais crônicas. Iniciamos o estudo da qualidade

das lipoproteínas de pacientes infartados. Todas essas pesquisas têm a colaboração de hospitais e profissionais das áreas médica, biológica, química, imunológica e odontologia. Nesses casos, pulsos de duração da ordem da dezena de ms são necessários para se obter respostas ópticas dos materiais.

Pessoal no GFCx (DFEP)

Atualmente o grupo dispõe de uma boa infraestrutura de pessoal, com técnicos de nível superior e médio, bem como de auxílio de secretaria.

Há apenas dois docentes no grupo (Profs. Cristiano de Oliveira e Antônio Figueiredo), que teve a aposentadoria de dois de seus membros nos últimos anos. O Prof. Figueiredo já tem tempo de aposentadoria, podendo requerer-la de imediato. A produção científica dos atuais membros do grupo pode ser verificada nos cv Lattes:

<http://lattes.cnpq.br/1559316327227821>

<http://lattes.cnpq.br/9646485680649234>

Projetos de grande porte sediados no GFCx (DFEP)

O GFCx tem sido avaliado tanto nacional quanto internacionalmente e recebido auxílios à pesquisa no âmbito de projetos como Milênio e INCT. Somos a sede do INCT de Fluidos Complexos, que congrega cerca de 70 pesquisadores do Brasil (bem como colaboradores do exterior) de diferentes especialidades: médicos, biólogos, físicos, químicos, odontólogos, imunologistas e matemáticos). Além da coordenação do INCT (e do gerenciamento dos recursos a nós alocados pelas agências de fomento federais e estadual), o grupo conta com um Projeto temático FAPESP que engloba um Equipamento Multiusuário (EMU) FAPESP/USP de difração e espalhamento de raios X a ultrabaixos ângulos e altos ângulos. Esse equipamento é único na América Latina, com resolução melhor que a do atual LNLS.

O pleito do GFCx

Atualmente nossa demanda é localizada em **um docente que realize pesquisas na área de NLO**, para dar continuidade às pesquisas desenvolvidas na área bem como trazer novas perspectivas de trabalho tanto multidisciplinar quanto em áreas mais específicas da NLO. A continuidade se justifica na medida em que os resultados conseguidos com a interação com especialistas das áreas biológicas, têm sido excelentes, em particular nas características aterogênicas de LDLs modificadas *in vivo*. Com relação a novas áreas que poderiam ser investigadas com o parque instrumental que dispomos podemos elencar a investigação de propriedades absorptivas e refrativas de novos materiais visando tanto aspectos fundamentais quanto de aplicações. As ênfases descritas sucintamente no preâmbulo são todas viáveis com nosso parque experimental e pessoal de apoio.

Referências

[1] Y.R. Shen, *The Principles of Nonlinear Optics*, John Wiley & Sons, New York, (1984).

[2] Web of Knowledge, 9/4/2019

http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=5EbXuNdw8pKuWv8t9SI&preferencesSaved=

[3] K. Katayama, D.Kato, Kin-Ichiro Nagasaka, M. Miyagawa, W.Y. Sohn and Kuang-Wu Lee, *Origin of optical nonlinearity of photo-responsive liquid crystals revealed by transient grating imaging*, Nature, Scientific Reports, **9**, 5754 (2019).

[4] OSA, The Optical Society meeting in NLO, July 2019. [https://www.osa.org/en-us/meetings/topical_meetings/nonlinear_optics_\(1\)/program_topics/topic_categories/](https://www.osa.org/en-us/meetings/topical_meetings/nonlinear_optics_(1)/program_topics/topic_categories/)

[5] Thomas J. Salez, Sawako Nakamae, Régine Perzynski, Guillaume Méridet, Andrejs Cebers, and Michel Roger. Thermoelectricity and thermodiffusion in magnetic nanofluids: Entropic analysis. *Entropy*, 20(6):405, 2018.

[6] M Janssen and M Bier, Transient response of an electrolyte to a thermal quench, [Arxiv.org](https://arxiv.org/abs/1907.00000) - preprint, 2019.

[7] Dan Zhao, Anna Martinelli, Andreas Willfahrt, Thomas Fischer, Diana Bernin, Zia Ullah Khan, Maryam Shahi, Joseph Brill, Magnus P. Jonsson, Simone Fabiano, Xavier Crispin, Polymer gels with tunable ionic Seebeck coefficient for ultra-sensitive printed thermopiles, *Nature Communications* 10:1093, 2019.

[8] Xiaolei Peng, Linhan Lin, Eric H. Hill, Pranaw Kunal, Simon M. Humphrey, and Yuebing Zheng, Optothermophoretic Manipulation of Colloidal Particles in Nonionic Liquids, *J. Phys. Chem. C*, 122(42):24226, 2018.