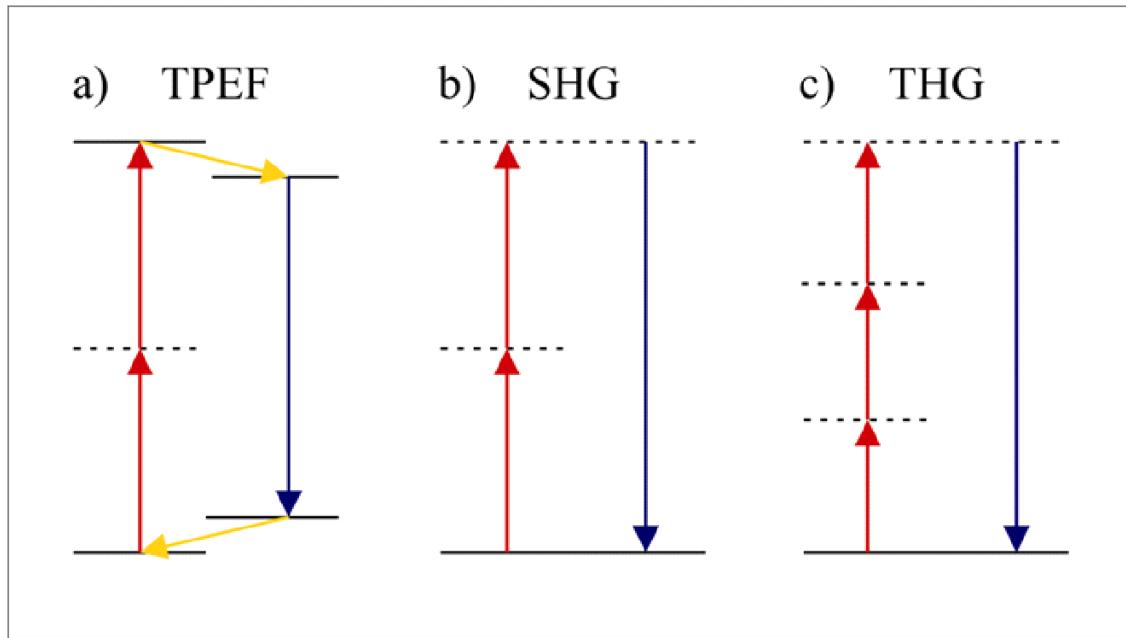


Geração de Terceiro Harmônico (THG)

A Geração de Terceiro Harmônico (THG) é um processo de óptica não linear de terceira ordem, o que significa que três fótons de frequência fundamental ω são aniquilados simultaneamente, resultando na criação de um fóton com o triplo da frequência 3ω (e, consequentemente, um terço do comprimento de onda original). Este fenômeno é regido pela susceptibilidade não linear de terceira ordem $\chi^{(3)}$ e ocorre em qualquer meio material, diferentemente da Geração de Segundo Harmônico (SHG), que requer a ausência de simetria de inversão.



As setas possuem comprimento proporcional à energia $\hbar\omega$ dos fótons (inversamente proporcional ao comprimento de onda) as linhas contínuas representam níveis de energia reais e as linhas tracejadas representam níveis de energia virtuais. A) Fluorescência excitada por absorção de dois fótons TPEF. B) Geração de segundo harmônico SHG. C) Geração de terceiro harmônico THG.

Cálculos matemáticos mostram de que a geração de terceiro harmônico no limite de um feixe fortemente focalizado desaparece para a condição de perfeito phase-matching ($\Delta k = 0$) e é maximizado através de Δk positivo. Esse comportamento pode ser entendido em termos da mudança de fase de π radianos que ocorre no foco de qualquer feixe focalizado.

Esta anomalia de fase, que leva o nome de mudança de fase de Gouy (1890), tem consequências importantes para a óptica não linear, porque em geral, a polarização $p_q = \chi^{(q)} A_i^q$ experimenta uma mudança de fase que é q vezes maior do que a experimentada pelo feixe incidente. Consequentemente a polarização não linear não acoplará corretamente com o feixe incidente ao menos que haja uma incompatibilidade dos vetores de onda Δk , que compensará a mudança de fase devido à passagem do feixe pelo foco.

Esse resultado tem grande importância para a microscopia THG, e implica que o mesmo não pode ser obtido de uma estrutura com grande volume. Resultado que foi primeiro demonstrado por Boyd e precedeu a primeira microscopia por geração de terceiro harmônico realizada por Silberberg.

O sinal de terceiro harmônico gerado por um meio com grande volume é cancelado devido a interferência destrutiva associada a mudança de fase, mudança de fase de Gouy, que um feixe de excitação sofre ao passar pelo foco. A contribuição do THG gerada antes do foco é cancelada (interferência destrutiva) pelo THG gerada após o foco (na mesma magnitude, mas com fase oposta), resultando em uma intensidade de THG quase nula ou extremamente baixa na saída.

O sinal de THG torna-se significativamente forte apenas em interfaces ou em regiões com heterogeneidades ópticas (como variações no índice de refração ou na susceptibilidade $\chi^{(3)}$). Nesses pontos, o equilíbrio de simetria da integração de fase ao redor do foco é quebrado, e o sinal gerado em ou próximo à interface não é totalmente cancelado.

Com esse resultado chegamos à conclusão de que para uma interface entre dois meios não dispersivos, o sinal será proporcional à distância entre a interface de dois meios e a diferença entre os valores de $\chi(3)$ desses meios. Em amostras biológicas, que são em sua maioria compostas por água, uma grande fonte de THG são os lipídios.

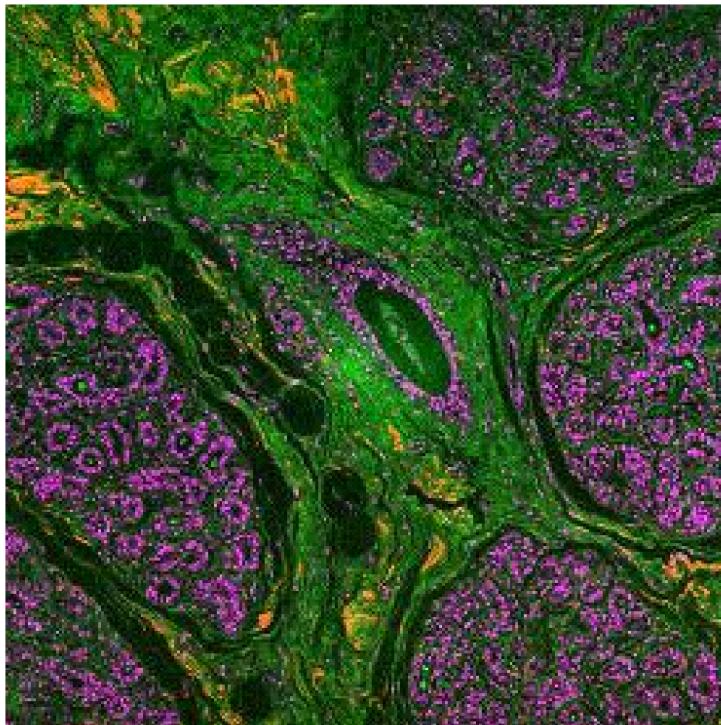


Imagem de amostra de mama marcada com HE, em verde TPEF, em vermelho SHG e em magenta THG, com objetiva de 10x

Referências:

R. Boyd, Nonlinear Optics (Academic, New York, 1992)

Y. Barad, H. Eisenberg, M. Horowitz, and Y. Silberberg, “Nonlinear scanning laser microscopy by third-harmonic generation,” Appl. Phys. Lett. 70, 922–924 (1997).

D. Débarre and E. Beaurepaire, "Quantitative Characterization of Biological Liquids for Third-Harmonic Generation Microscopy," *Biophys J.* 92(2): 603–612 (2007).

PELEGATI, Vitor Bianchin. Microscopias de óptica não linear: fluorescência excitada por absorção de dois fótons, geração de segundo harmônico e geração de terceiro harmônico. 2010. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, SP.