



## Introdução ao Espalhamento Brillouin em guias de onda

Otávio Moreira Paiano\*, orientador: Gustavo S. Wiederhecker

### Resumo

O Espalhamento Brillouin torna-se extremamente relevante em guias de onda quando a potência incidente é suficiente para induzir ondas acústicas por eletrostrição. Nesse caso, o espalhamento é estimulado pela transferência de energia das ondas eletromagnéticas para as ondas sonoras. O perfil do espectro retroespalhado determinado experimentalmente apresentou um crescimento exponencial da componente Stokes em função da potência incidente. Através de soluções numéricas foi mostrado que essencialmente toda luz é refletida para potência incidente suficientemente alta.

### Palavras-chave:

Espalhamento Brillouin, fibras ópticas, fotônica.

### Introdução

O Espalhamento Brillouin é o resultado da interação entre ondas acústicas e eletromagnéticas. Um fóton incidente de frequência  $\omega$  pode ser espalhado com uma nova frequência  $\omega \pm \Omega$ , onde  $\Omega$  é a frequência da onda sonora. A mudança na frequência (espalhamento inelástico) deve-se à dependência temporal do índice de refração, proveniente da propagação da onda acústica pelo meio<sup>1</sup>. A frequência do fóton espalhado pode ser maior que a do incidente (processo denominado anti-Stokes) se um fônon for absorvido, o que representa transferência da energia mecânica da onda acústica para radiação eletromagnética. De forma simétrica, quando o fóton espalhado tem frequência menor que a do incidente (processo denominado Stokes), ocorre a criação de um fônon, que representa um aumento da intensidade da onda sonora a partir da transferência de energia da onda eletromagnética para a onda acústica.

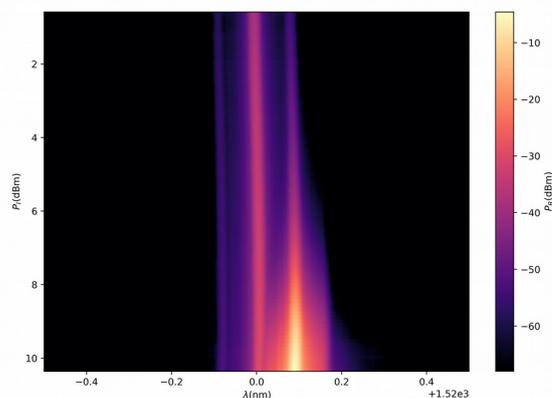
Devido às flutuações térmicas presentes em fibras ópticas a temperatura ambiente, o Espalhamento Brillouin ocorre naturalmente, caracterizando o espectro espontâneo. Nessas condições, as componentes Stokes e anti-Stokes ocorrem com a mesma intensidade, visto que as ondas sonoras originadas por ruído térmico não têm direção preferencial de propagação. Entretanto, para potências suficientemente altas, o campo elétrico das ondas eletromagnéticas incidente e espalhada induzem ondas mecânicas no meio através da eletrostrição (mudança no volume do objeto devido a força exercida pelo campo elétrico, propriedade apresentada por materiais dielétricos). Nessas circunstâncias, ocorre o Espalhamento Brillouin estimulado: as ondas acústicas induzidas por eletrostrição espalham a luz com mais intensidade, e a luz espalhada junto com a luz incidente intensificam as ondas sonoras. Essa realimentação faz com que a potência retroespalhada cresça exponencialmente em função da potência incidente.

O objetivo dessa pesquisa é explicar o comportamento do Espalhamento Brillouin em guias de onda (fibras ópticas) determinando experimentalmente e através de simulações computacionais o espectro e a potência retroespalhados em função da potência incidente.

### Resultados e Discussão

Para estudar experimentalmente o espectro retroespalhado foi utilizada uma fibra óptica de aproximadamente 22 km. A luz retroespalhada foi

captada com um circulador óptico e analisada com um espectrômetro. Para um laser de comprimento de onda de 1520 nm, a diferença entre a frequência incidente e a espalhada foi  $\Omega \approx 11$  GHz. O espectro retroespalhado apresenta o Espalhamento Brillouin espontâneo para potências baixas (parte superior da Figura 1, componentes Stokes e anti-Stokes possuem a mesma intensidade) e se desenvolve para o espalhamento estimulado à medida que a potência incidente aumenta. Para potências incidentes maiores que um limiar, a componente Stokes domina completamente o espectro retroespalhado (parte inferior da Figura 1).



**Figura 1.** Evolução do espectro retroespalhado (linhas horizontais) em função da potência incidente (eixo vertical,  $P_i$ ) determinado experimentalmente. A faixa central representa o espalhamento Rayleigh (espalhamento elástico, de mesma frequência da luz incidente). A faixa que aumentou exponencialmente a intensidade representa a componente Stokes do Espalhamento Brillouin e é responsável pelo processo estimulado.

### Conclusão

Os dados experimentais mostraram o crescimento exponencial da componente Stokes do Espalhamento Brillouin estimulado em função da potência incidente. Além disso, simulações computacionais indicam que a luz incidente tende a ser completamente refletida para potências incidentes suficientemente altas.

### Agradecimentos

Esse trabalho teve apoio do Serviço de Apoio ao Estudante SAE/UNICAMP.

<sup>1</sup> Wiederhecker, Gustavo S. and Dainese, Paulo and Mayer Alegre, Thiago P. *APL Photonics* 2019, vol. 4, n. 7, p. 71101.