

Considerações sobre a física do laser

Por Luiz Marcelo Aiello Viarengo

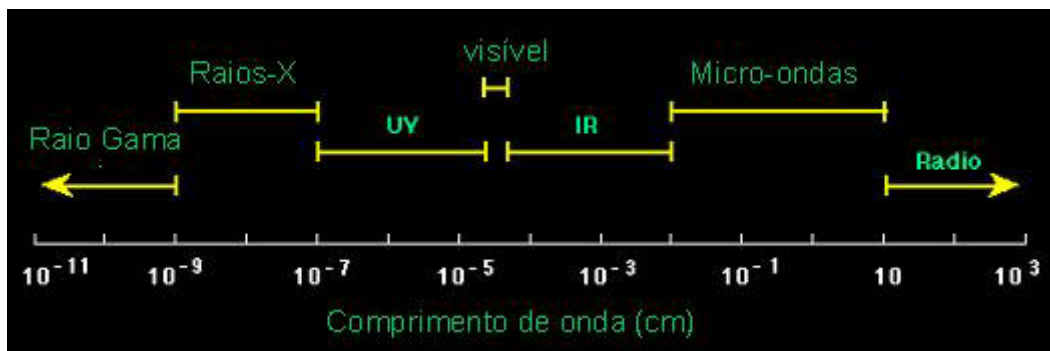
O laser é uma fonte de luz natural gerada a partir da energia interna dos átomos. São fontes de radiação eletromagnética ou luz que possuem algumas características especiais que as diferem de outras fontes de luz, como uma lâmpada incandescente.

A palavra LASER é um acrônimo do inglês “Ligh Amplification by Stimulated Emission of Radiation”, o que significa “amplificação da luz pelo efeito da emissão estimulada da radiação”. Este acrônimo encerra dois fenômenos físicos importantes que estão implicados na geração do laser: A emissão estimulada da radiação e a amplificação luminosa (Siegman,1986).

Radiação eletromagnética é uma onda de comprimento conhecido, com campos elétricos e magnéticos, que se propaga no vácuo com a velocidade da luz e frequência determinada.

Os olhos humanos possuem sensibilidade para uma faixa muito estreita do espectro de radiação eletromagnética, conhecida como luz visível, que vai do violeta até o vermelho (figura 7). Todas as emissões do espectro localizadas acima do violeta (ultra-violeta) ou abaixo do vermelho (infravermelho) não são percebidas pelo olho humano. Cada emissão do espectro está associada a uma frequência ou a um determinado comprimento de onda, e são essas frequências vibratórias que nos permitem diferenciar uma cor de outra, dentro do espectro visível (Siegman, 1986; Boechat, 2002).

Se uma radiação eletromagnética interage com sistemas físicos, como átomos, íons ou moléculas, então pode haver uma transferência de energia.



Representação gráfica do espectro de radiação eletromagnética.

Diz-se que o átomo está em seu estado fundamental quando possui a menor energia possível. Qualquer átomo pode ser considerado como formado por um núcleo em torno do qual se movem pequenas partículas chamadas elétrons. O movimento dos elétrons está atrelado a determinadas leis da Física e não se processa de um modo qualquer, sendo permitidas apenas certas classes de movimentos e a cada uma delas está associada uma certa quantidade de energia. Quanto mais próximos os elétrons estão em relação ao núcleo, menor é a energia do átomo. Um átomo está

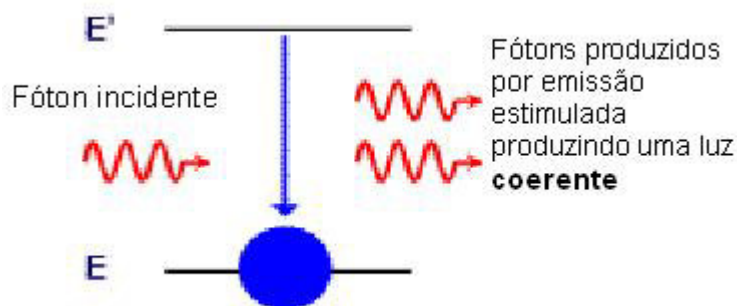
normalmente em seu estado fundamental, mas pode passar a um estado excitado se absorver energia.

Emissão espontânea da luz.

A luz é uma forma de energia gerada, emitida ou absorvida por átomos ou moléculas. Para emitir energia na forma de partícula luminosa ou fóton, o átomo precisa ser elevado a um nível energético acima de seu estado fundamental. Se sua energia aumenta, ele passa a um de seus vários estados excitados, que correspondem a níveis de energia mais elevados.

A excitação dos átomos ou moléculas pode ocorrer por diferentes mecanismos, como exposição a radiação eletromagnética ou aquecimento por choque mecânico com outras partículas como em uma descarga elétrica. Nesta circunstância todo o sistema atômico irá para um estado mais energético. Este mecanismo é chamado de absorção, e o pré-requisito para que este tipo de interação ocorra é que a energia transferida seja suficiente para ultrapassar o "gap" energético entre os estados energéticos em questão. Como o átomo não consegue permanecer em nível de excitação energética superior por longos períodos (cerca de 0,00000001 segundo), retorna ao seu nível menos energético.

O elétron, ao decair para sua órbita energética inferior, livra-se do excesso de energia na forma de emissão de partículas ou pacotes de ondas luminosas chamadas fótons (Figura 8). Este é o fenômeno da emissão espontânea da luz, que ocorre de forma muito ínfima na natureza, sendo um exemplo clássico a Aurora Boreal. Tais fenômenos de absorção e emissão espontânea são completamente reversíveis.



Esquema representativo das órbitas energéticas de um átomo excitado e o decaimento do elétron para a órbita energética inferior com emissão de partícula luminosa

O comprimento de onda (λ) ou a frequência do fóton emitido está ligado ao excesso de energia por meio da relação:

$$\lambda = h.c / E$$

Onde: h = constante de Planck; c = velocidade da luz e E = excesso de energia.

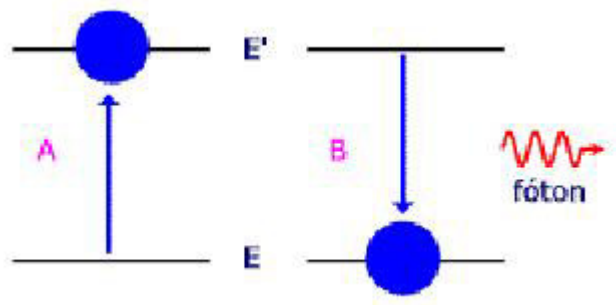
Dessa relação podemos deduzir que os comprimentos de ondas mais longos transportam menos energia que os comprimentos de ondas mais curtos. Assim, a luz mais próxima da faixa do vermelho, no espectro de radiação eletromagnética, que tem um comprimento de onda mais longo, transporta menos energia que a luz mais próxima da faixa do violeta, que tem um comprimento de onda mais curto. Cada átomo ou molécula na natureza possui níveis de excitação energéticos distintos. Conseqüentemente, elementos diferentes emitirão fótons com energias diferentes e, assim, comprimentos de ondas distintos. Todas essas radiações primárias são monocromáticas (Siegman, 1986).

Emissão estimulada da luz.

O fenômeno de emissão estimulada da luz, postulada por Albert Einstein em 1916, é aquele onde um fóton estimula a emissão de outro fóton por um átomo excitado (figura 9). Quando um fóton colide com um átomo excitado, instantaneamente provoca o decaimento do elétron para uma órbita energética inferior e, como consequência, emite um fóton idêntico ao primeiro com algumas características:

- O fóton estimulado se move na mesma direção do fóton inicial (fóton incidente);
- O fóton estimulado está em fase com a radiação inicial, ou seja, sincroniza sua onda com a do fóton incidente, ambos alinham suas cristas, somam suas magnitudes e aumentam, dessa forma, a intensidade da luz emitida. Isto é uma luz coerente ou organizada. A emissão estimulada permite a construção de um amplificador de luz no espectro óptico (Goldman & Rockwell, 1991; Boechat, 2002).

O resultado final da emissão estimulada é um par de fótons que são coerentes e viajam na mesma direção. A emissão estimulada da luz constitui a base do funcionamento do laser.



Esquema representativo de um átomo excitado e o decaimento do elétron para a órbita energética inferior ao colidir com um fóton, com emissão de outra partícula luminosa em fase.

Amplificação luminosa

Em condições normais, ou seja, na qual o sistema esteja em equilíbrio termodinâmico, todo o sistema tende a ficar no estado menos energético, e, portanto, átomos ou moléculas em seu estado fundamental serão os mais “populosos” no sistema. Assim, um fóton atingindo este sistema terá uma probabilidade maior de ser absorvido do que provocar a emissão estimulada de outro fóton.

Pode-se concluir que, nestas circunstâncias, o processo de emissão espontânea de luz será dominante neste sistema, e não será possível amplificá-la.

Para que seja possível amplificar a luz, há a necessidade de se ter um sistema onde a quantidade de átomos excitados seja maior que aquela no estado fundamental, circunstância na qual a emissão espontânea será maior que a absorção.

Para que haja a emissão de laser é preciso, portanto, que ocorra o fenômeno de inversão de população no sistema atômico em questão, havendo predomínio absoluto de átomos excitados, possibilitando a emissão estimulada em cadeia.

Para compreensão do processo físico de amplificação luminosa vamos descrever um laser hipotético de uma forma muito simplificada. Em um meio transparente, dentro de um tubo entre dois espelhos, coloca-se uma grande quantidade de átomos ou moléculas de um mesmo tipo. Um dos espelhos reflete toda a luz nele incidente, e o outro espelho reflete 99% da luz que incide sobre ele. Inicialmente os átomos estão em seu estado fundamental.

Uma fonte externa de energia, ao ser acionada, produzirá uma excitação energética nesses átomos, fazendo com que os elétrons saltem de sua órbita original para uma órbita energética superior. Esses átomos excitados tendem a se livrar desse excesso de energia e, ao fazê-lo, emitem partículas luminosas chamadas fótons. Esses fótons são emitidos espontaneamente e aleatoriamente em todas as direções. Aqueles que colidirem com as paredes laterais do tubo se perdem na forma de calor. Os fótons emitidos paralelamente ao eixo do tubo possuem grande probabilidade de encontrarem outros átomos excitados e, dessa forma, estimular a emissão de fótons adicionais, coerentes com os fótons estimuladores. Cada um desses fótons ao se chocarem com outros átomos excitados estimulam a emissão de mais fótons e assim, sucessivamente, havendo a formação de um feixe de fótons coerentes que, ao colidirem com o espelho de reflexão total, retornam para o interior do tubo dando seqüência ao processo de amplificação luminosa. Com a repetição continuada desses processos, o número de fótons coerentes refletindo-se entre os dois espelhos cresce tanto que parte deles escapam pelo espelho semi-refletor (cerca de 1%) constituindo a radiação laser, que apresenta características únicas que a tornam diferente de qualquer outra fonte de luz, ou seja, é um feixe de luz coerente, monocromática e colimada (Siegman, 1986; Boechat, 2002).