

Laser

A palavra laser é formada com as iniciais das palavras da expressão inglesa *light amplification by stimulated emission of radiation*, que significa amplificação de luz por emissão estimulada de radiação.

Emissão Estimulada

A interação entre fótons e átomos com elétrons em várias órbitas pode acontecer, principalmente, por três processos: absorção, emissão espontânea e emissão estimulada.

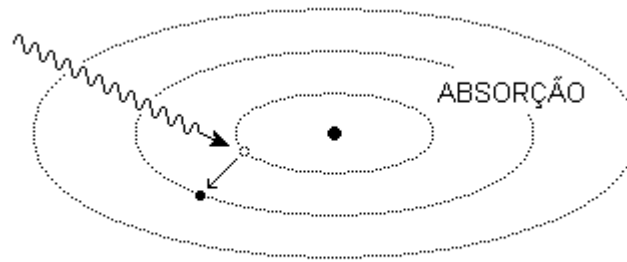


Fig.1

Um fóton pode ser absorvido por um átomo e, em consequência, um elétron passa de uma órbita para outra órbita de energia maior (Fig.1). O fóton só pode ser absorvido se a sua energia é igual à energia do estado final menos a energia do estado inicial. Esse processo é chamado de absorção e dizemos que o átomo fica num estado excitado.

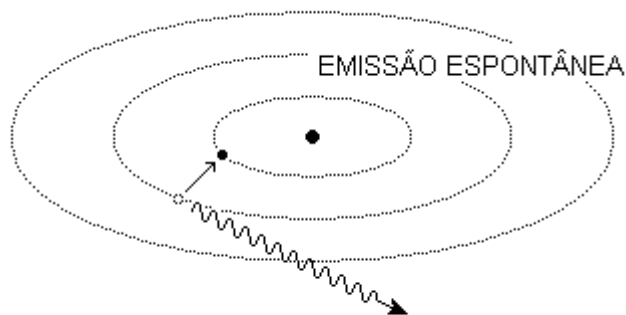


Fig.2

Um elétron pode passar, espontaneamente, de uma órbita para outra órbita de energia menor. O átomo correspondente emite um fóton numa direção qualquer (Fig.2). O fóton emitido tem energia igual à energia do estado inicial menos a energia do estado final do átomo. Esse processo é chamado de emissão espontânea e é o processo mais provável pelo qual um átomo, num estado excitado, passa a um estado de menor energia. De modo geral, o intervalo de tempo durante o qual um elétron permanece numa órbita, antes de decair por emissão de um fóton com energia na região visível do espectro, é da ordem de 10^{-8} ou 10^{-7} s. Diferentes materiais têm diferentes estruturas de órbitas e irradiam fótons de diferentes comprimentos de onda.

Um elétron pode ser estimulado a passar de uma órbita para outra, de energia menor, por um fóton de energia igual à energia do estado inicial menos a energia do estado final (Fig.3).

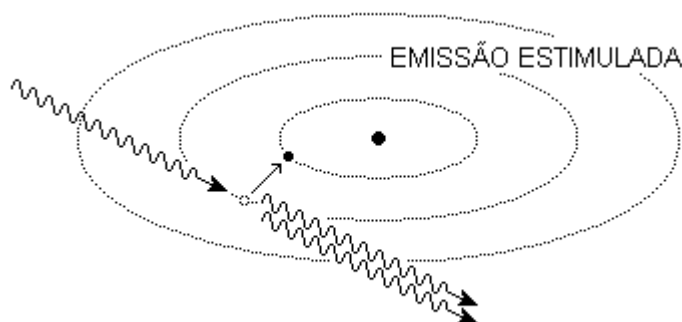


Fig.3

Esse processo é chamado de emissão estimulada. O fóton que estimulou a transição e o fóton emitido pelo átomo são coerentes, isto é, têm energias, freqüências, comprimentos de onda e fases iguais e também a mesma direção de propagação. Este é o processo básico de amplificação da radiação que origina o raio laser.

Inversão de População

Se uma amostra de certa substância está submetida a um banho de radiações eletromagnéticas com as mais diferentes freqüências, todos os processos de interação entre fótons e átomos mencionados acima, absorção, emissão espontânea e emissão estimulada, ocorrem. Dessa maneira, os átomos são excitados e desexcitados continuamente.

Caso a amostra esteja em equilíbrio térmico com o banho de radiações, o número de átomos no estado de energia E_2 é muito menor do que o número de átomos no estado de energia E_1 , com $E_2 > E_1$. Dizemos, então, que existe inversão de população se, por alguma circunstância, o número de átomos no estado de energia E_2 fica muito maior do que o número de átomos no estado de energia E_1 na condição de equilíbrio térmico.

Com a inversão de população, os processos de emissão ficam mais importantes do que os processos de absorção. Portanto, se um feixe com radiações eletromagnéticas de diferentes freqüências atravessa a amostra, a radiação com a freqüência apropriada para provocar emissão estimulada abandona a amostra com um número maior de fótons do que quando entrou. Em outras palavras, essa radiação passa a ter uma intensidade maior do que aquela que tinha no feixe original. Além disso, o número de átomos que são desexcitados é maior do que o número de átomos que são excitados e a inversão de população e a amplificação diminuem rapidamente, até que se anulam no equilíbrio térmico.

Os dispositivos de produção de luz laser restabelecem continuamente a inversão de população e, portanto, a amplificação da radiação com a freqüência apropriada.

Laser de Rubi

O rubi é formado por óxido de alumínio, Al_2O_3 , em que íons de alumínio são substituídos por íons de cromo numa pequena fração de até 1%. Esses íons de cromo são responsáveis pela coloração avermelhada do rubi e é neles que ocorre a inversão de população que origina o raio laser. A Fig.4 representa, muito simplificada, a estrutura de níveis de energia de um íon de cromo no rubi.

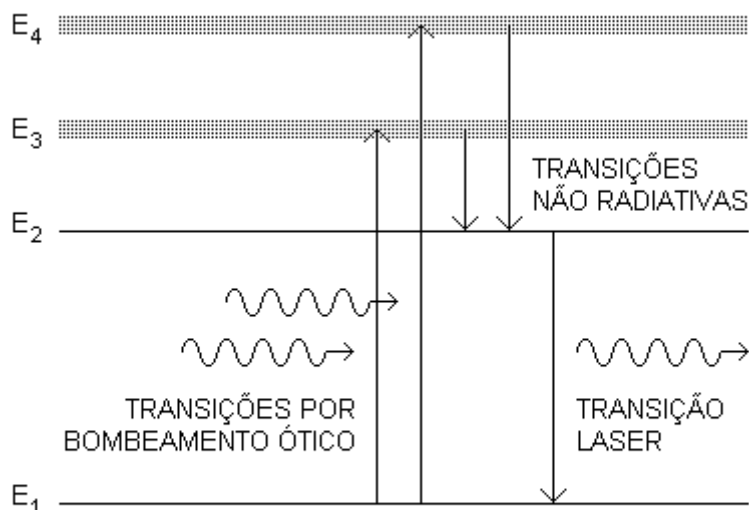


Fig.4

Quando uma amostra de rubi é iluminada com luz branca de alta intensidade, íons de cromo, em bom número, absorvem as componentes de cor verde e azul, e seus elétrons são promovidos aos níveis de energia E_3 e E_4 . Esses elétrons, depois de um brevíssimo intervalo de tempo, realizam transições não radiativas para os níveis de energia E_2 . Estes níveis de energia são níveis metaestáveis. As transições não radiativas têm esse nome porque não vêm acompanhadas de emissão de luz, mas de radiação eletromagnética de baixa frequência, que é absorvida pelo resto da amostra de rubi, fazendo aumentar sua energia interna e sua temperatura.

De modo geral, o intervalo de tempo médio durante o qual um elétron permanece num nível excitado de energia, antes de decair espontaneamente, é da ordem de 10^{-8} ou 10^{-7} s. O intervalo de tempo médio de permanência de um elétron num nível de energia metaestável é muito maior, da ordem de 10^{-3} s.

Na transição do estado de energia E_2 para o estado de energia E_1 , a radiação eletromagnética emitida pelo íon de cromo tem frequência de $4,33 \times 10^{14}$ Hz. Essa radiação eletromagnética é percebida, pelos seres humanos, como a cor vermelha característico do rubi.

No caso de uma amostra de rubi iluminada com luz branca de alta intensidade, os longos intervalos de tempo durante os quais os elétrons permanecem nos níveis metaestáveis permitem que, num dado instante de tempo, mais da metade dos íons de cromo tenham elétrons nesses níveis. Assim, em cada um desses íons, se estabelece uma inversão de população entre o nível metaestável (de energia E_2) e o nível fundamental (de energia E_1).

Se essa amostra de rubi é submetida a um feixe de radiação eletromagnética de frequência:

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

em que h representa a constante de Planck, passam a acontecer transições estimuladas dos níveis de energia E_2 para os níveis de energia E_1 .

Num laser de rubi, uma vareta cilíndrica de rubi sintético, com o diâmetro de um lápis e cerca de 8 cm de comprimento, é irradiada com luz branca, de alta intensidade, proveniente de uma lâmpada de flash pulsante (Fig.5).

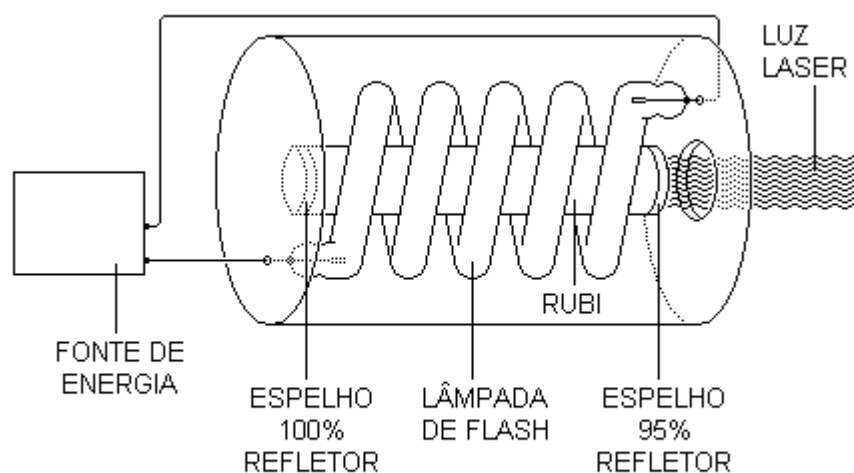


Fig.5

A cada pulso, as componentes verde e azul dessa luz branca são absorvidas pelos íons de cromo e terminam por originar inversões de população entre os níveis metaestáveis e os níveis fundamentais. Alguns íons de cromo, cujos elétrons estão nos níveis metaestáveis, decaem espontaneamente para os estados fundamentais, emitindo, em direções aleatórias, as radiações eletromagnéticas correspondentes. Essas radiações podem, então, interagir com outros íons de cromo, cujos elétrons também estejam em níveis metaestáveis, e provocar emissões estimuladas de radiações com a mesma frequência. E assim por diante, de modo que a intensidade da luz vermelha cresce rapidamente.

A vareta de rubi está localizada ao longo do eixo de uma cavidade cilíndrica metálica, com paredes internas polidas (refletoras). As radiações que abandonam a vareta, atravessando a superfície lateral, são trazidas de volta.

As extremidades da vareta são polidas e cobertas de prata, formando dois espelhos paralelos entre si e perpendiculares ao eixo da vareta. Um desses espelhos reflete 100% da radiação incidente e o outro reflete cerca de 95%. O comprimento da vareta de rubi é escolhido de modo que o espaço entre os espelhos forme uma cavidade ótica ressonante. Assim, enquanto perdurar a inversão de população provocada pelo pulso da lâmpada de flash, a radiação laser se desloca num movimento de vai-vem entre os espelhos, provocando cada vez mais transições induzidas dos níveis metaestáveis aos níveis fundamentais e interferindo sempre construtivamente. Cada vez que a radiação laser atinge o espelho parcialmente

refletor, uma parte escapa ao exterior, formando aquilo que chamamos de luz (ou raio) laser. Cada pulso da lâmpada de flash gera um pulso de luz laser, ou seja, um pulso muito intenso de luz coerente.