
LASER OU ALEER

Joel L. R. Muzart
Depto de Física – UFSC
Florianópolis - SC

Introdução

A palavra Laser foi criada a partir das iniciais de “Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation”, ou seja, amplificador de luz por emissão estimulada da radiação. Portanto um laser é uma fonte de luz, cujo princípio de funcionamento é baseado na emissão estimulada da radiação, o que permite a sua amplificação. Em consequência disto, as características principais desta fonte de luz são intensidade, direcionalidade e coerência.

O que é um Laser?

1. Tubo à descarga

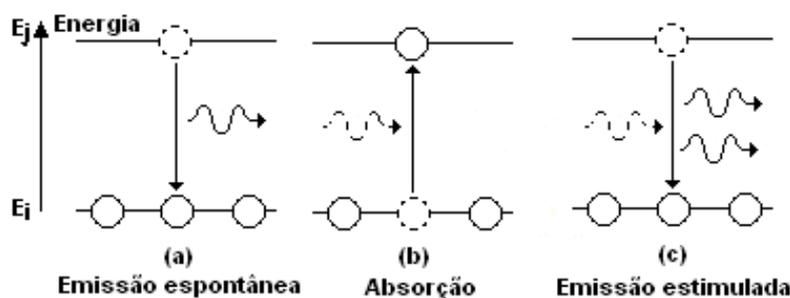
Esta fonte de luz é bem conhecida, por exemplo, luminosos, neon. Ela é constituída de um tubo de vidro com gás ou vapor, à baixa pressão (alguns mm de Hg) e uma diferença de potencial alta, aplicada nas extremidades do tubo. Assim elétrons são emitidos pelo cátodo, acelerados pelo campo elétrico e colidem com átomos ou moléculas neutras. Entre outros efeitos esta colisão pode criar outro elétron e um íon se a transferência de energia do elétron para o átomo for superior à energia de ionização do átomo. Este efeito é responsável pela manutenção da descarga. Se a transferência de energia do elétron para o átomo for menor do que sua energia de ionização, um dos elétrons do átomo pode se colocar em um nível de energia superior: obtemos assim um átomo excitado. O átomo excitado tende em geral a voltar ao seu estado mais baixo de energia, emitindo um fóton de luz. Este fenômeno é responsável pela emissão de radiação.

Existem ainda muitos outros efeitos: em particular, a recombinação elétron-íon que representa o termo de

perdas, que não serão estudadas aqui por não serem relevantes para a compreensão do funcionamento de um laser.

2. Emissão – Absorção

Sejam dois níveis de energia de um átomo caracterizado pelas energias E_i e E_j .



- Se o elétron se encontra no nível superior de energia E_j ele pode voltar espontaneamente para o nível mais baixo E_i de maneira aleatória e em qualquer direção. O pacote de luz ou fóton de luz emitido num dado instante terá características diferentes do fóton emitido antes ou depois.
- Se um fóton de luz de energia E igual à diferença $E_j - E_i$, incide em um átomo que tem elétrons no nível de energia E_i ele pode ser absorvido pelo átomo colocando um dos elétrons do nível de energia E_i no nível E_j .
- Se um elétron se encontra no nível E_j de energia e ainda incide um fóton de luz de energia $E = E_j - E_i$ este fóton pode "induzir" o elétron a descer para o nível E_i , gerando outro fóton que terá as mesmas características do fóton incidente, em particular direção, polarização e frequência – chamamos esta emissão de induzida ou estimulada.

3. Fonte de luz comum X Laser

Em um tubo à descarga, a excitação se processa por colisões eletrônicas sobre todos os níveis de energia do átomo e a luz é obtida por emissão espontânea. Temos, portanto, uma fonte de luz policromática, que irradia em todas as di-

reções e cujos fótons de luz são emitidos de maneira aleatória no tempo. É o que chamamos de fonte de luz comum.

Teremos uma fonte bem diferente se conseguirmos obrigar os fótons a serem criados por emissão estimulada. Neste caso os fótons emitidos têm a mesma energia ou frequência (luz monocromática), mesma direção e são emitidos a instantes bem determinados. Esta fonte de luz é chamada laser. Para conseguir o laser é preciso em primeiro lugar que a emissão estimulada seja muito mais importante do que a absorção que faz desaparecer os fótons. A teoria mostra, e podemos também perceber de maneira intuitiva, que se o número de átomos que tem um elétron no nível de energia E_j é maior do que o número de átomos que tem um elétron no nível de energia E_i a emissão induzida será maior do que a absorção. Esta situação é chamada de inversão de população e será estudada mais adiante.

Com a inversão de população o meio pode produzir luz por emissão estimulada, e então ser considerado como um meio amplificador, já que cada fóton de luz pode produzir dois fótons de luz (ver definição da emissão estimulada). A amplificação será obtida colocando o meio em uma cavidade ressonante na frequência ν_{ij}^* .

Funcionamento de um Laser

Vimos anteriormente que dois fatores são necessários para o funcionamento de um laser: a inversão de população e a cavidade ressonante. As características da cavidade ressonante dependem da frequência da luz a ser emitida pelo laser. A obtenção da inversão de população depende do tipo de laser estudado. Não é aqui nosso objetivo considerar todos os lasers existentes, por isso trataremos um exemplo, o do laser mais conhecido: Hélio-Neônio.

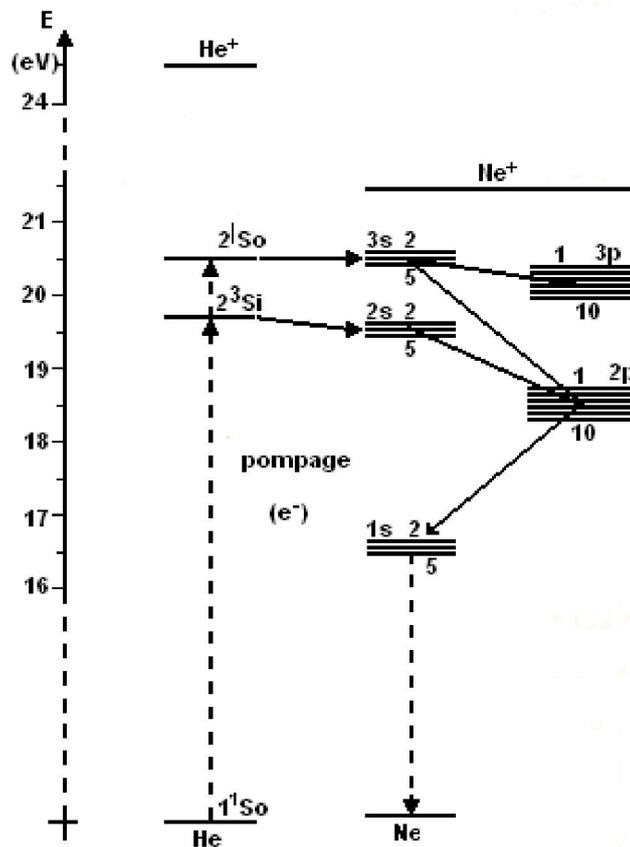
* Lembramos que um fóton de energia $E = E_j - E_i = h \nu_{ij}$, sendo ν_{ij} a frequência do fóton e h a constante de Planck. Podemos ainda relacionar a frequência ν_{ij} com o comprimento de onda λ_{ij}

pela relação $\nu_{ij} = \frac{c}{\lambda}$, c sendo a velocidade da luz.

1. A inversão de população

Consideremos dois níveis de Energia E_j e E_i com $E_j > E_i$. Supomos ainda que a transição radiativa entre esses dois níveis seja permitida (condição necessária pra que haja emissão de luz). Segundo a lei de Boltzmann, no equilíbrio termodinâmico a população do nível de energia E_j será sempre menor do que a população do nível mais baixo E_i . Portanto, sem algum artifício não há inversão de população.

No caso de um laser de Hélio-Neônio, para entender como conseguir a inversão de população vamos observar o diagrama de energia desses átomos que apresentamos a seguir:



A descarga é constituída de aproximadamente 85% de Hélio e 15% de Neônio. Os níveis 2^1S e 2^3S do Hélio e 3s e 2s do Neônio são populados por bombardeamento eletrônico principalmente.

Os níveis 3s e 2s do Neônio têm transição permitida para os níveis 3p e 2p; mas os níveis 2^1S e 2^3S do Hélio são metastáveis, ou seja, a transição para o nível fundamental do Hélio é proibida. Como também não tem outro nível de energia entre o fundamental e os níveis metastáveis, temos uma população muito grande nos níveis 2^1S e 2^3S . (É preciso lembrar que o fator principal de despopulação de um nível de energia é a emissão de fótons de luz.)

Observamos no diagrama de energia que o nível metastável 2^1S do Hélio tem praticamente a mesma energia do que o nível 3s do Neônio, o mesmo acontecendo para os níveis 2^3S e 2s. A diferença de energia tanto do He(2^1S) para o Ne(3s) e do He(2^3S) para o Ne(2s) em uma descarga é menor do que a energia térmica dos átomos neutros. Portanto as colisões entre os átomos He(2^1S) e Ne de um lado e de He(2^3S) e Ne do outro, as quais tendem manter o equilíbrio do sistema, transferem energia do He para o Ne. Assim os níveis metastáveis do He, que têm uma população muito grande, "populam" os níveis 3s e 2s do Neônio de tal maneira que temos mais átomos excitados nos níveis 3s ou 2s do que nos níveis 3p ou 2p. Consegue-se assim a inversão de população no Neônio, que é uma condição necessária para que um laser "a leea", ou seja, funcione.

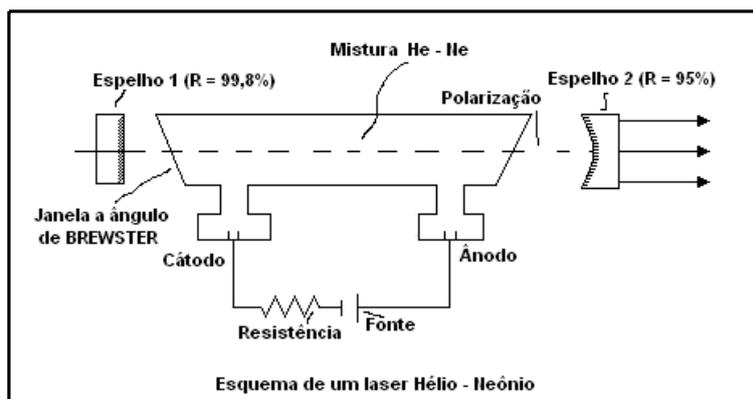
2. A cavidade ressonante

Conseguida a inversão de população, vamos estudar a condição para amplificação da luz. Para conseguir esta amplificação será suficiente colocar o meio ativo, no caso o Neônio, em uma cavidade ressonante. O que pode constituir uma cavidade ressonante que amplifique a luz emitida?

Estamos usando a emissão induzida de luz; no decaimento de um elétron, induzido por um fóton de energia adequada, obtemos dois fótons absolutamente iguais. O que precisamos então é que essa cavidade mantenha a luz o maior

tempo possível dentro do meio ativado, multiplicando assim os fótons induzidos.

Isso pode ser conseguido colocando dois espelhos nas extremidades do tubo à descarga, como mostra a figura seguinte.



Podemos ver que cada reflexão da luz aumenta a distância de propagação no meio ativo, aumentando assim a emissão induzida. No entanto, é preciso que esta cavidade tenha alto coeficiente de qualidade. As perdas por mau alinhamento, ou nas reflexões, podem ser maiores do que o ganho obtido pela inversão de população e, portanto, podem impedir o funcionamento do Laser. Para diminuir as perdas nas reflexões, usam-se espelhos multicamadas que, além de terem perdas menores, permitem selecionar o comprimento de onda desejado (por exemplo: 6328\AA); também as janelas do tubo permitem que as reflexões no tubo sejam nulas para um feixe de luz propagando-se segundo o eixo do laser, e polarizado como indicado na figura. O bom alinhamento dos espelhos é obtido por um mecanismo de ajuste fino para conseguir reflexões múltiplas. Enfim, é preciso cuidar também do ajuste longitudinal da cavidade, de tal maneira que os fótons de luz refletidos pelo espelho 1, e em seguida pelo espelho 2, estejam em fase com a luz originalmente existente para conseguirmos um sistema de ondas estacionárias planas.

Conseguimos alinhar a cavidade de tal maneira que o feixe de luz possa fazer de 10 a 20 percursos no meio ativo, sendo então amplificado, e saindo pelo espelho 2. Obtemos assim um feixe de luz paralelo, de grande intensidade e coerência.

3. Os diferentes tipos de laser

São muitos os tipos de lasers: pulsados ou contínuos, sólidos, líquidos ou gasosos. Não entraremos no detalhe de funcionamento de cada um, nem vamos citar todos eles. Podemos citar, dentro dos lasers sólidos, o de Rubi e o de Neodímio - são lasers pulsados de altíssimas potências. Os mais importantes lasers líquidos são os lasers a corantes cuja característica principal é a de permitir a variação do comprimento de onda da luz emitida.

Enfim, os lasers à gás, entre os quais podemos citar, além do Hélio-Neônio, o laser à Argônio que emite uma luz verde e o laser à gás carbônico, que emite no infra vermelho (10,6 μm) com potências altíssimas.

Aplicações

Vamos citar aqui algumas das aplicações dos lasers. Elas resultam das características específicas, do feixe de luz obtido, já mencionadas.

1. Aplicações energéticas

- Transmissão de energia à distância: considerando a qualidade direcional e a grande potência do laser, é possível destruir objetos a grandes distâncias (o raio da morte). Experiências mostraram que é possível, com um laser de 60 kw de potência, queimar madeira a uma distância de vários quilômetros.
- Corte e solda de materiais: focalizando um feixe de laser de alta potência, é possível alcançar a temperatura de fusão do material e conseguir assim tanto o corte como a solda de materiais.
- Cirurgia: o feixe de luz focalizada de um laser pode ser utilizado para destruir ou soldar tecidos orgânicos; é o chamado bisturi laser.

2. Aplicações à telecomunicação

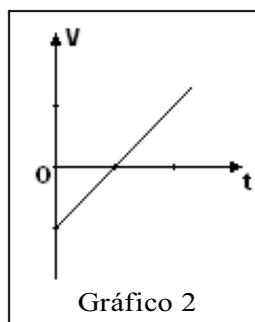
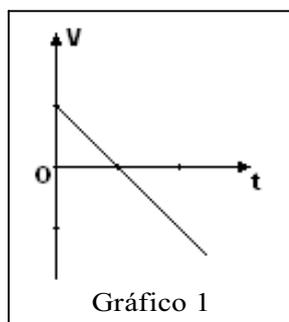
A transmissão de informações atualmente realizadas por micro-ondas (televisão, telefone,...) é baseada na modulação da onda.

Como a frequência da luz é muito maior do que a de micro-ondas, a modulação pode ser feita também com frequência muito maior, e aumentar em muito a quantidade de informações. Como a propagação da luz é sensível às condições atmosféricas, utilizam-se fibras óticas para transmitir a luz do laser.

Existem ainda várias outras aplicações, como alinhamentos em construção ou sistemas óticos, holografia, medidas de distâncias grandes ou pequenas, física de plasmas (fusão) e a pesquisa científica.

PENSE E RESPONDA!

Dois alunos estavam discutindo entre si sobre o gráfico $v \times t$ que cada um havia feito a cerca do movimento de uma pedra lançada verticalmente para cima (gráficos 1 e 2).



Como você justificaria que ambos resolveram com acerto questão? Despreze a resistência do ar.