

---

## 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

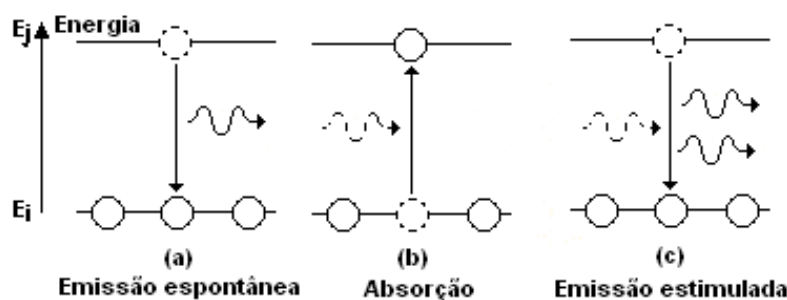
Esta fonte de luz é bem conhecida, por exemplo, luminosos, neon. Ela é constituída de um tubo de vidro com gás ou vapor, à baixa pressão (alguns mm de Hg) e uma diferença de potencial alta, aplicada nas extremidades do tubo. Assim elétrons são emitidos pelo cátodo, acelerados pelo campo elétrico e colidem 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  $\nu_{ij}^*$ .

#### 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.

---

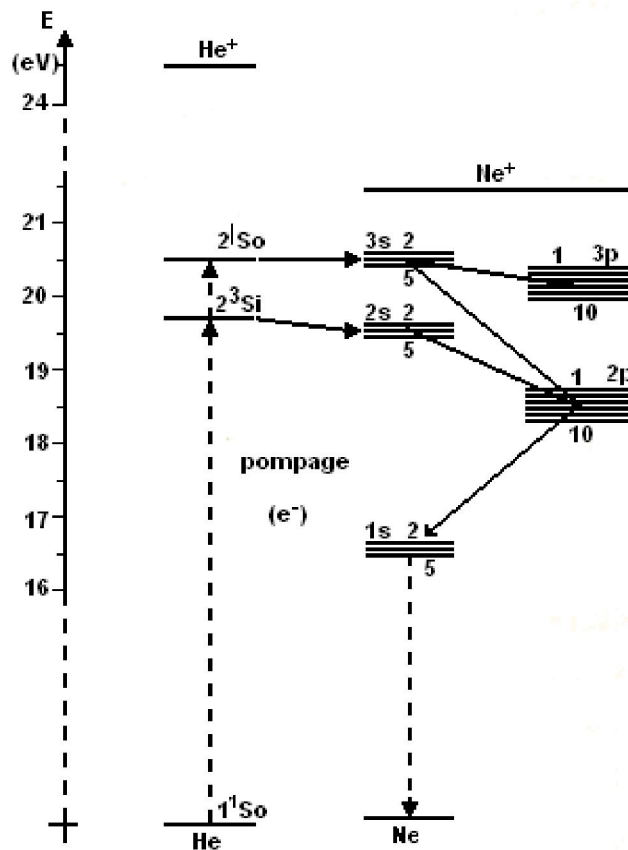
\* Lembramos que um fóton de energia  $E = E_j - E_i = h \nu_{ij}$ , sendo  $\nu_{ij}$  a frequência do fóton e  $h$  a constante de Planck. Podemos ainda relacionar a frequência  $\nu_{ij}$  com o comprimento de onda  $\lambda_{ij}$

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.

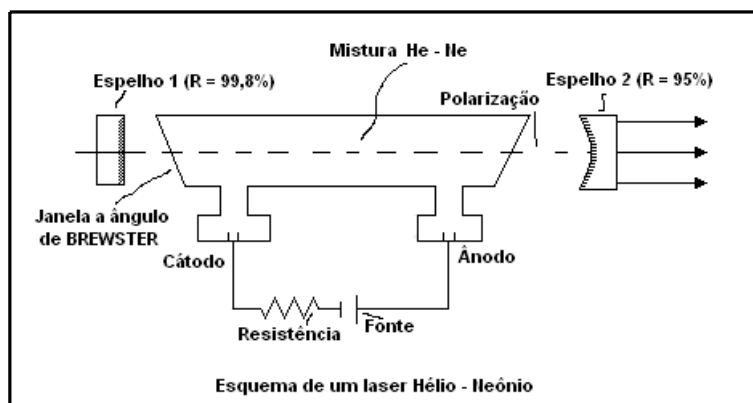
## 2. A cavidade ressonante

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:  $6328\text{\AA}$ ); 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 mm) 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.

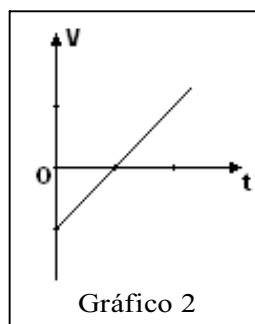
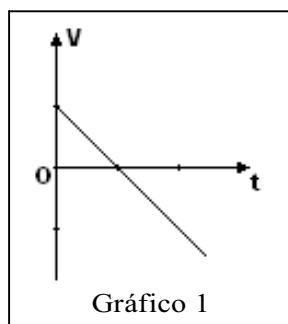
Existem ainda várias outras aplicações, como alinhamentos em construção ou sistemas óticos, holografia, medidas de distâncias grandes ou pequenas, física de plasmas (fusão) e a pesquisa científica.

---

### 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.