



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
FACULDADE DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA

LASER
A luz que revolucionou a Tecnologia

Marabá-Pará
2015



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
FACULDADE DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA

LASER
A luz que revolucionou a Tecnologia

Rogério Freitas Moraes

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fernanda Carla Lima Ferreira

Marabá-Pará
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA

Moraes, Rogério Freitas

Laser: a luz que revolucionou a tecnologia / Rogério Freitas Moraes;
orientadora, Fernanda Carla Lima Ferreira. — 2015.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do
Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Ciências
Exatas, Faculdade de Física, Curso de Licenciatura em Física, Marabá, 2015.

1. Lasers. 2. Feixes de laser. 3. Laser - Indústria. 4. Fontes de luz. I.
Ferreira, Fernanda Carla Lima, orient. II. Título.

CDD: 23. ed.: 621.366

LASER
A luz que revolucionou a Tecnologia

Rogério Freitas Moraes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Física da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará – UNIFESSPA como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de graduado em Física.

Banca Examinadora

Prof.^a. Dr.^a. Fernanda Carla Lima Ferreira (Orientadora)

Prof. Dr. Luiz Moreira Gomes

Prof. Dr. Tiago Carvalho Martins

Marabá-Pará
2015

Resumo

LASER

A luz que revolucionou a Tecnologia

Rogério Freitas Moraes

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fernanda Carla Lima Ferreira

Com base nos recursos de pesquisas bibliográficas, o presente trabalho aborda o Laser, a começar pelo seu significado e o seu processo histórico. No intuito de aprofundar o estudo em questão, fez-se necessário fazer um levantamento claro e preciso da física do laser levando em consideração suas propriedades, juntamente com os processos de transições propostos por Einstein, onde mostra a necessidade de Inversão de População através do estudo em bases teóricas no Laser de Rubi e no Laser à Gás de Hélio-Neônio. Também são apresentadas as variedades do Laser, mostrando, logicamente, as diferenças existentes entre eles e, alguns dos tipos de Lasers existentes. Consequentemente são mostradas algumas de suas aplicações, buscando nestas a importância desse invento. Outro ponto em destaque são os cuidados necessários quanto ao uso do laser.

Palavras-chaves: Aplicações, Laser, Propriedades.

Abstract

LASER

The light that revolutionized technology

Rogério Freitas Moraes

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fernanda Carla Lima Ferreira

Based on the resources of bibliographic research, this work discusses the Laser, starting with its meaning and its historical process. In order to further study in question, is necessary to make a clear and accurate survey of laser physics of taking into account their properties, along with transitions processes proposed by Einstein, where it show the need Inversion of Population through the study of theoretical bases in ruby laser and laser gas Helium-Neonico. Also are shown in laser varieties, showing, of course, the differences between them and some of the types of existing Lasers. Consequently are shown of its applications, seeking these the importance of this invention. Another highlight in point are the necessary precautions for the use of laser.

Key-words: Applications, Laser, Properties.

A Deus, a meus pais, a meus irmãos, à minha namorada e a todos os meus familiares e amigos que durante a minha carreira acadêmica estiveram sempre ao meu lado me incentivando, apoiando e dando força para que eu chegasse até o final de minha formação profissional. Com muito orgulho e satisfação retribuo a eles as vitórias colhidas nesta trajetória.

*Cada descoberta nova da ciência é uma porta nova pela qual encontro mais uma vez DEUS.
Albert Einstein.*

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre ao meu lado me abençoando e por ter me dado forças para chegar até o final do curso.

A minha família que sempre estar ao meu lado me apoiando e orando para que possa dar tudo certo nos meus estudos.

A Prof.^a Dr.^a Fernanda Carla Lima Ferreira pela orientação competente e dedicação no desenvolvimento desse trabalho.

A Universidade Federal do Sul e Sudeste Pará (UNIFESSPA) por ter me recebido e contribuído para minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

A Direção e a Coordenação por tomarem conta da faculdade de Física.

A todos professores da faculdade de Física.

Aos colegas de curso pela ajuda e pela amizade durante todo o curso de graduação.

A todos, meu muito obrigado!

Rogério Freitas Moraes

Sumário

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 . Objetivo Geral	2
1.2 . Objetivos específicos	2
Capítulo 2 - Invenção do Laser	3
2.1. O que é laser?	3
2.2. O Processo Histórico do Laser	5
Capítulo 3 - A Física que envolve o Laser	8
3.1. As Propriedades da luz de um Laser	8
3.2. Einstein e as Bases Teóricas para o desenvolvimento do Laser	9
3.2.1. Absorção	9
3.2.2. Emissão Espontânea	10
3.2.3. Emissão Estimulada	10
3.3. A Necessidade de Inversão de População	11
3.3.1. O Laser de Rubi	12
3.3.2. O Laser a Gás Hélio-Neônio	13
Capítulo 4 - As variedades do Laser	17
4.1. As diferenças entre lasers	17
4.2. Tipos de Lasers	18
4.2.1. Laser de Argônio e Criptônio	18
4.2.2. Laser a vapor de Metal: Cádmiom e Selenio	18
4.2.3. Laser Químico	19
4.2.4. Excimer Laser	19
4.2.5. Laser de IAG/Nd: Vidro	19
4.2.6. Laser de CO_2	19
4.2.7. Laser de Nitrogênio	19
4.2.8. Laser de Alexandrita	20
4.2.9. Laser Semicondutor	20
Capítulo 5 - O Laser e suas Aplicações	21

5.1. Laser na Medicina	21
5.1.1. Introdução	21
5.1.2. Bisturi-Laser	21
5.2. Laser na Oftalmologia	22
5.3. O Laser na Odontologia	24
5.4. O Laser na Informação	24
5.5. O Laser na Indústria	26
5.6. O Radar Laser	27
5.7. O Laser e a Holografia	27
Capítulo 6 - Advertências quanto ao uso do Laser	29
6.1. Os Cuidados com o Laser	29
6.2. Segurança Pessoal	30
6.3. A Segurança quanto ao Meio Ambiente	30
Capítulo 7 - Considerações finais	31
Referências Bibliográficas	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema de um Laser de Hélio e Neônio [5]	3
Figura 2.2. Desenho Esquemático interno de uma Cavity Laser [5]	4
Figura 2.3. Foto do Laser de Diodo [6]	5
Figura 2.4. Primeiro Laser à Gás Hélio e Neônio (He-Ne) [4]	6
Figura 2.5. Fotografia do Modelo do Laser a Gás Hélio e Neônio [5]	6
Figura 3.1. Interação de radiação e matéria nos processos de Absorção, Emissão Espontânea e Emissão Estimulada [8]	9
Figura 3.2. Inversão de população [8]	11
Figura 3.3. Ciclo de energia em 4 etapas para átomos envolvidos na geração de luz laser [9]	12
Figura 3.4. Esquema do Laser de Rubi [11]	13
Figura 3.5. Esquema interno de uma cavity laser contendo uma mistura de gases Hélio e Neônio [13]	13
Figura 3.6. Esquema dos átomos de Hélio no estado excitado – metaestável após uma descarga elétrica [13]	14
Figura 3.7. Esquema dos átomos de Neônio no estado metaestável após colisões com os átomos de He-Ne excitado [13]	14
Figura 3.8. Esquema dos átomos de Neônio emitindo radiação [13]	15
Figura 3.9. Esquema da reflexão dos fótons que se movem paralelamente ao eixo do tubo [13]	15
Figura 3.10. Amplificação dos fótons a cada reflexão [13]	15
Figura 3.11. Formação do feixe de Raio Laser [13]	16
Figura 5.1. Bisturi – Laser [18]	22
Figura 5.2. Laser de Rubi: usado nas cirurgias oculares [19]	23
Figura 5.3. O uso do Raio Laser nas cirurgias oculares [20]	23
Figura 5.4. Ilustração do Código de Barra [24]	24
Figura 5.5. Análise de uma chama através de feixes de raio laser [26]	26
Figura 5.6. Figura de um Holograma Circular [29]	27
Figura 5.7. Esquema da Produção de um Holograma [30]	28

Capítulo 1

Introdução

Ao longo dos anos, desde que foi inventado, em 1960, o laser tem se constituído em um instrumento poderoso nas suas inúmeras aplicações científicas e tecnológicas. São aplicações que vêm sendo descobertas quase que diariamente e que já fazem parte da realidade da sociedade em geral. A partir do CD Player até instrumentos usados em cirurgias do descolamento de retina, com tendência a infinitas utilizações [1].

O laser vem abrindo caminho para um novo campo, às vezes, denominado *fotônica*, que trata da interação, a nível quântico, entre fótons e a matéria macroscópica. Devido o laser, tornar-se importante para a transmissão, armazenamento, detecção e o processamento de informações, é que esta tecnologia, denominou-se *fotônica*.

A aplicação do laser, foi sem dúvida um dos grandes avanços na área médica e em todas as suas especialidades, está se desenvolvendo rapidamente, proporcionando vantagens que outros aparelhos não oferecem.

A grande vantagem do laser, encontra-se no tipo de luz que ele é capaz de produzir, uma luz monocromática e altamente coerente, onde seu feixe muito estreito tem um excepcional paralelismo. Desse modo, a grande concentração de energia em áreas muito pequenas e bem definidas. Um laser de baixa potência, apresenta um brilho considerável, bem acima ao da luz emitida por uma lâmpada de 60 watts [2].

A coerência dos lasers, torna-os ideais para realizar uma vasta variedade de medidas nas áreas da interferometria e de espectroscopia. Atualmente, as pequenas vibrações da terra causadas por terremotos, são medidas por interferômetro a laser.

Diante da grande conquista que os lasers representam para a humanidade que os utiliza em suas inúmeras formas, é imprescindível abordar esse assunto. Descobrir a sua enorme importância ao compreendermos todo o seu funcionamento.

Este trabalho, desenvolveu-se com base em pesquisas bibliográficas. Reuniu-se fontes de três áreas do conhecimento envolvidas com o desenvolvimento e aplicação do laser, a medicina, a odontologia e a física. Sendo que, a física foi o principal eixo do conhecimento utilizado.

Para uma melhor compreensão dessa inovação tecnológica o presente trabalho da seguinte maneira: no primeiro capítulo, logicamente para a introdução, assim como o objetivo geral e os objetivos específicos.

No segundo capítulo, retratando uma definição precisa e simples do laser. Respondendo a uma pergunta básica: O que é um laser? E, considerando que um homem só não faz história, buscamos no processo histórico do laser vários de seus colaboradores.

No terceiro capítulo, será abordado uma análise da Física que envolve o funcionamento desse dispositivo. Apresentando as propriedades da luz do laser que a torna tão eficiente e, as bases teóricas para o seu desenvolvimento, como: a emissão estimulada definida por Albert Einstein, a emissão espontânea e, o processo de absorção de energia, bem como a necessidade da inversão da população para que ocorra o efeito laser. Detalha-se também o funcionamento físico de alguns tipos de lasers.

No quarto capítulo, será apresentado as diversas formas dos lasers, destacando as diferenças entre os lasers abordando alguns de seus tipos.

No quinto capítulo, será apresentado a importância do laser, e algumas de suas inúmeras aplicações.

No sexto capítulo, será abordado os perigos que o laser pode oferecer se não for manuseado corretamente com técnicas e habilidades, não só na área médica mas nas suas diversas aplicações.

E no sétimo capítulo as considerações finais.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi mostrar como a aplicação da luz do laser pode ser usada em diversas áreas.

1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Analisar o processo histórico do laser;
- Apresentar a física que envolve o laser;
- Reconhecer a existência de diversos tipos de laser;
- Mostrar as diversas formas de aplicações do laser;
- Orientar sobre quais cuidados devemos tomar com a luz laser.

Capítulo 2

A Invenção do Laser

2.1. O que é um laser

O laser é um dispositivo especialmente programado, adquirindo a capacidade de produzir uma luz possuidora de características únicas, que a torna tão eficaz para inúmeras aplicações. Diferente da luz comum, a do laser possui um só comprimento de onda e uma só frequência. É emitida numa só direção e possui uma única cor, isto é, é monocromática [3].

A produção do laser pode ocorrer em diversos meios, chamados *meio ativo*, que gera radiação. Esse meio pode ser um sólido, um semicondutor ou cristal, um líquido, um gás ou um vapor. A cor da luz do laser depende do meio ativo usado, que pode ser ambarina, verde, vermelha, azul ou invisível [4].

Geralmente o laser é gerado no interior de uma cavidade. Essa cavidade consiste de uma câmara, onde fica o meio ativo, sendo que o tamanho e a forma dessa câmara dependem desse meio ativo. Dois espelhos estão posicionados nas extremidades dessa câmara, como podemos observar na Figura 2.1.

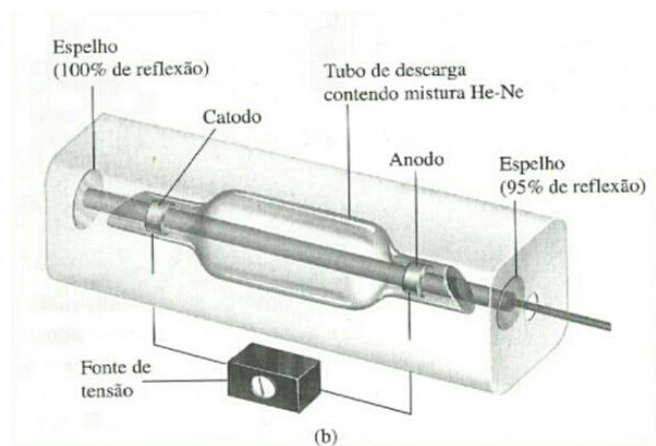


Figura 2.1- Esquema de um Laser a Gás Hélio e Neônio [5].

Um dos espelhos é totalmente refletivo (100%) e, o outro é parcialmente refletivo (95%). Essa diferença de capacidade de reflexão dos espelhos permite a saída da radiação do interior da cavidade gerando o raio laser.

Um laser pode ser excitado por descarga elétrica, corrente elétrica, lampejos luminosos, outros lasers e reações químicas.

O termo laser provém das iniciais em inglês de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, que significa (amplificação da luz por emissão estimulada de radiação). A expressão “emissão estimulada”, que aparece no termo laser, retrata uma forma incomum pelo qual um átomo emite radiação [6].

De maneira simplificada pode-se dizer que o laser utiliza a luz emitida por um átomo ou molécula para estimular a emissão de mais luz por outros átomos ou moléculas e, neste processo, amplificar a luz original. Esses átomos ou moléculas são anteriormente preparados, isto é, excitados para energias mais altas e, quando perdem a energia armazenada emitem luz. Os átomos e as moléculas são do meio ativo (Vide Figura 2.2).

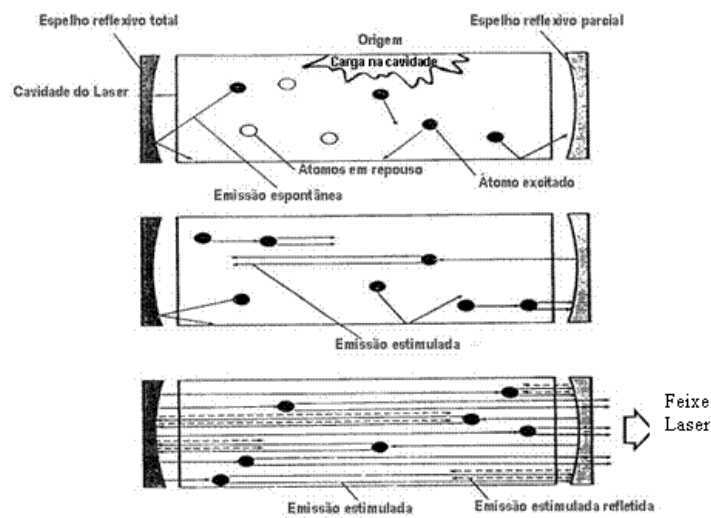


Figura 2.2 - Desenho esquemático interno de uma cavidade laser [5].

A quantidade de luz se amplia em cadeia, pois passa de uma partícula a outra e é refletida pelos espelhos criando um movimento de vaivém. Cerca de 5% dessa luz é liberada. Os 95% restantes continuam sendo refletidos pelos espelhos dentro da câmara, realimentando o processo. Como ilustra a Figura 2.2.

O laser não é uma fonte de energia, apenas é um conversor de energia, que tira vantagem do processo de emissão estimulada para concentrar uma certa parte de sua energia em energia radiante [6].

Atualmente o laser faz parte do nosso cotidiano. O mais popular é o laser de diodo, mostrado na Figura 2.3 que tem sido utilizado nas leituras de códigos de barra nos caixas de supermercados, nos aparelhos de gravação e reprodução de CDs e DVDs e, nos sistemas de comunicação por fibra ótica, intensamente usados em telefonia. O laser de diodo, também tem sido comercializado na forma de canetas conhecidas como “laser pointer”.



Figura 2.3 – Foto do Laser de Diodo. [6]

2.2. O Processo Histórico do Laser

As grandes invenções não são feitas por um ser humano apenas, mas provêm de um acúmulo de conhecimentos desenvolvidos ao longo dos tempos. Homens que colaboraram para os avanços científicos e que não podem ser esquecidos.

O laser foi inventado em 1960. Porém, as bases teóricas para o desenvolvimento desse instrumento já haviam sido lançadas, desde 1916 por Albert Einstein.

Para Einstein, em 1917, defendeu a tese da teoria da emissão estimulada, que veio a ser, anos depois, a chave da operação dos lasers. Mas também teve um estímulo anterior em Planck, ao estudar uma nova formulação da dedução da teoria de Planck da radiação (1900) [1]. Essa teoria analisa as relações entre a quantidade de energia liberada por processos atômicos. Assim, Einstein, discorreu sobre a interação de átomos, íons e moléculas com radiação eletromagnética em termos de absorção e emissão espontânea de radiação e visualizou que o terceiro processo de interação deveria existir, a emissão estimulada, e nela, a radiação eletromagnética deveria ser produzida por um processo atômico.

No começo da década de 50, Charles Townes, professor da Universidade de Columbia, em Nova Iorque, estava fazendo estudos espectroscópicos de moléculas utilizando radiação de micro-ondas. Ele queria produzir micro-ondas mais curtas do que as que foram usadas nos radares da Segunda Guerra Mundial, quando ele usou moléculas e a radiação estimulada, predita por Einstein. Townes e seus ajudantes produziram radiação estimulada de comprimento de onda de 1cm, o que recebeu o nome de *maser*, que quer dizer “amplificação de micro-ondas por emissão de radiação estimulada”, referindo-se à radiação estimulada na região de micro-ondas, sendo o *maser*, o precursor do laser [1].

No término dos anos 50, foi visualizado que esses estudos poderiam ser levados à faixa espectral que vai desde as micro-ondas até a luz visível. De novo, Townes e seu colega Arthur Schalow mostraram, teoricamente, que era concebível usar átomos para criar um *maser* ótico, que foi chamado de *laser*, ou seja, um *maser* que produzisse radiação na região visível do espectro eletromagnético, conhecida por luz [2].

Em 1960, Theodore Maiman, colocou em funcionamento o primeiro laser sólido, a partir de um cristal de rubi. Pela primeira vez conseguiu-se a emissão estimulada pela excitação do rubi, localizada na faixa visível do espectro eletromagnético. Posteriormente, em 1961 Javan Bennett e Hewriot apresentaram o primeiro laser a gás, a partir de uma mistura de gases nobres, Hélio e Neônio como podem observar na Figura 2.4 [3].

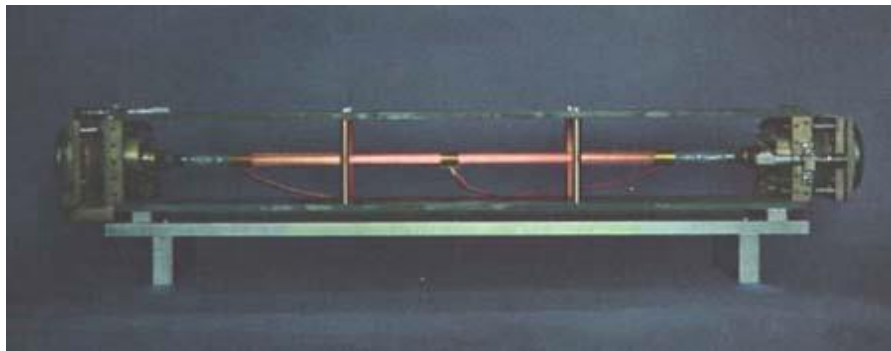


Figura 2.4 - Primeiro laser a gás constituído por uma mistura de gases nobres He – Ne [4].

Nessa época, vários pesquisadores que trabalhavam em pesquisa fundamental, em diferentes países, colaboraram para o advento do laser. É importante, ressaltar, que a priori, não existia a intenção de se produzir esse dispositivo, e quando este surgiu nem se pensava sobre as inúmeras aplicações que esse dispositivo viria a produzir.

Com o passar do tempo, através de muitos estudos, houveram modificações nos dispositivos do Laser a gás de He-Ne, como podemos observar na ilustração da Figura 2.5.

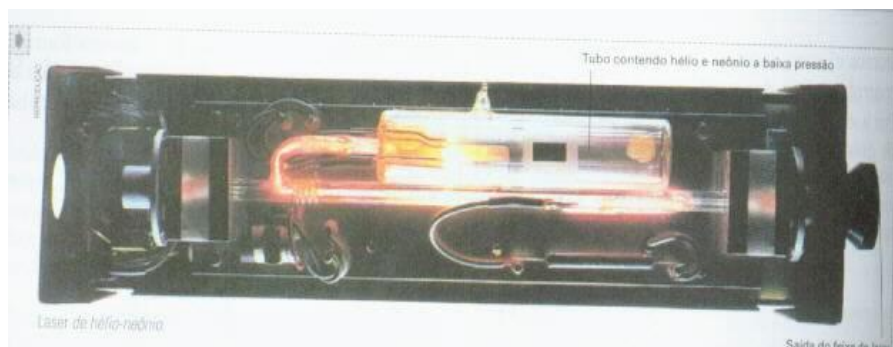


Figura 2.5 – Foto do Laser a Gás de Hélio – Neônio [5].

O desenvolvimento do *maser* e do *laser* não seguiu nenhum roteiro, ele simplesmente nasceu da natureza dos cientistas no seu desejo de entender, explorar e criar. Ele é um exemplo gritante de como tecnologias importantes, aplicáveis aos interesses humanos, podem nascer da pesquisa básica feita na Universidade (Townes) [6].

Em 1964, o americano Townes e os russos Basov e Prokhorov que, independentemente, contribuíram de forma significativa na área dos lasers sólidos, semicondutores, receberam o prêmio Nobel de Física, pelo trabalho na área da eletrônica quântica que levou à produção do maser e do laser. Também em 1964, Patel e colaboradores apresentaram o laser de Dióxido de Carbono - CO_2 [6].

Na odontologia, o primeiro estudo do laser foi realizado em 1964, por Stern e Sogannaes. Utilizando o laser de rubi, fizeram aplicações em tecidos dentais e observou-se que este laser formava cratera e fusão de esmalte e dentina, além de alterações de temperatura nos tecidos irradiados [7]. Com essas observações chamou-se a atenção para a necessidade de se desenvolver mais pesquisas sobre o assunto.

Em 1966, Charles Kuen Kao e G.A. Hockman concluíram que a luz do laser pode ser conduzida em tubos finíssimos, atualmente a popular *fibra ótica*. Outro fato importante aconteceu em 1979, onde a Philips lançou o CD a laser que, aos poucos, substituiu o LP e, hoje está substituindo os disquetes e fitas de vídeo. Já em relação às pesquisas com laser, o último prêmio Nobel foi concedido em 1999 para o químico Zewail, que utilizou o raio laser para mostrar como os átomos se movimentam nas diferentes etapas de uma reação química [7].

Capítulo 3

A Física que envolve o Laser

3.1. As propriedades da luz de um laser

A luz produzida por um dispositivo laser possui características únicas que as diferencia da luz emitida por outras fontes que costumamos perceber. E, é justamente isso que leva o laser a uma vasta gama de usos. Vejamos essas qualidades:

a) Luz monocromática- a luz do laser possui um único comprimento de onda e, portanto, uma cor pura. É uma luz constituída de radiações que apresentam uma única frequência, o que com a luz comum é difícil esse estágio de monocromaticidade, pois ela se apresenta como uma mistura de várias frequências. O comprimento de onda da luz produzida pelos lasers vai desde o ultravioleta distante ($<200\text{nm}$) até o infravermelho ($>200\mu\text{m}$) [1].

b) Luz Coerente- a luz comum é incoerente, isto é, ela é formada por fótons com frequência e fases diferentes, sendo que um feixe de luz incoerente espalha-se após percorrer uma pequena distância, ficando cada vez mais longo e menos intenso com o aumento da distância percorrida [2]. Ao contrário da incoerência dessa luz comum, o laser possui uma luz altamente coerente, ou seja, é formada por fótons que têm a mesma frequência, a mesma fase e a mesma direção de propagação, portanto se propaga sofrendo pouco alargamento e enfraquecimento. A luz comum, mesmo quando é monocromática ainda apresenta incoerência, isto é, por mais que apresente uma única frequência e um único comprimento de onda, ainda contém uma mistura de fases.

A coerência da luz produzida por um laser permite que ela seja focalizada em uma região de dimensões da ordem de um comprimento de onda de 10^{-4} cm [3].

c) Luz colimada- um feixe de laser possui um paralelismo quase perfeito e, só se afasta desse paralelismo perfeito em virtude dos efeitos da difração determinada pelo comprimento de onda e pelo diâmetro da abertura de saída [3,4]. A luz proveniente de outras fontes pode ser colimada, ou seja, transformada num feixe paralelo, por meio de uma lente ou de um espelho, porém a divergência do feixe é muito maior que a de um laser.

d) Luz precisamente focalizada- Devido ao paralelismo do feixe do laser, a sua luz pode ser precisamente focalizada. Não importa o tamanho da fonte, o diâmetro do ponto

focalizado pelo feixe do laser é limitado somente pela difração. Com a luz do laser focalizada podemos ter facilmente uma densidade de fluxo de energias da ordem de 10^{16} W/cm^2 [5,6].

3.2. Einstein e as Bases Teóricas para o desenvolvimento do Laser

Entre 1916 e 1917, estudando uma nova formulação para a dedução da Lei de Planck da radiação, Albert Einstein mostrou que:

- 1) Os átomos que se encontram num estado de menor energia podem ser elevados a um estado de energia superior, por absorção de fótons de energia apropriada;
- 2) Os átomos que estão num estado excitado podem voltar a seu estado fundamental por meio da emissão espontânea de fótons de energia correspondente;
- 3) Os átomos no estado excitado podem ser estimulados a emitirem um fóton quando são bombardeados por um fóton de mesma energia. Essas afirmações de Einstein correspondem respectivamente aos três processos de transição de um átomo: *A Absorção, Emissão Espontânea e a Emissão Estimulada*, sendo esta última à chave de operação de um laser (Figura 2.1) [7,8].

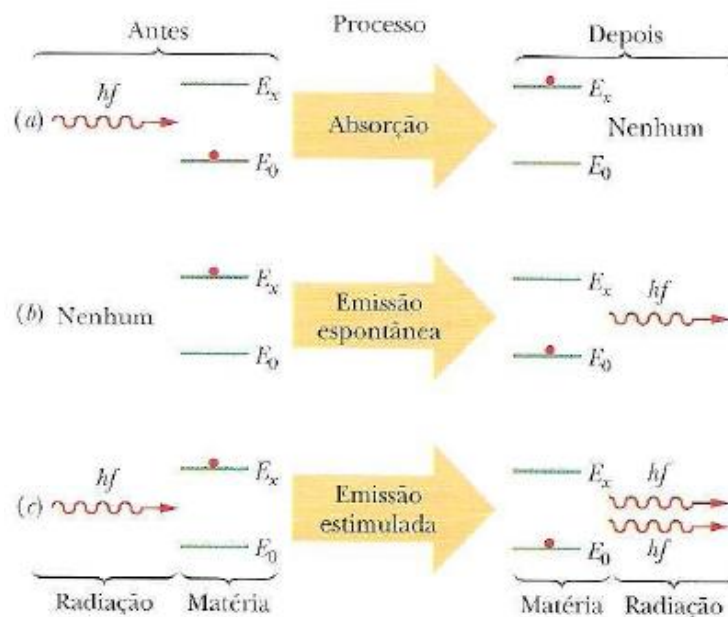


Figura 3.1 – Interação de radiação e matéria nos processos de (a) Absorção, (b) Emissão Espontânea e (c) Emissão Estimulada [8].

3.2.1. Absorção

A Figura 3.1a mostra o átomo inicialmente no estado fundamental. Se o átomo é submetido a uma radiação eletromagnética de frequência f pode absorver um fóton de energia

hf da radiação e passar para um estado excitado. De acordo com a lei de conservação da energia, temos;

$$hf = E_x - E_0 \quad (3.1)$$

Esse processo é chamado de **absorção**.

3.2.2. Emissão espontânea

Na Figura 3.1b o átomo se encontra em um estado excitado e não é submetido a nenhuma radiação. Depois de um certo tempo o átomo passa espontaneamente para o estado fundamental, emitindo um fóton de energia hf . Esse processo é chamado de *emissão espontânea*. A luz emitida pelo filamento de uma lâmpada incandescente é gerada dessa forma.

Normalmente o tempo que os átomos passam em estados excitados, o chamado tempo de meia vida é da ordem de 10^{-8} s. Esses estados, que são chamados de metaestáveis, desempenham um papel importante no funcionamento dos lasers.

3.2.3. Emissão estimulada

Na Figura 3.1c o átomo também se encontra em um estado excitado, mas dessa vez é submetido a uma radiação cuja frequência é dada pela Equação 3.1. Um fóton de energia hf pode estimular um átomo a passar para o estado fundamental emitindo outro fóton de energia hf . O processo recebe o nome de *emissão estimulada*. O fóton emitido igual, sob todos os aspectos, ao fóton que estimulou a emissão; assim, as ondas associadas aos dois fótons têm as mesmas frequência, energia, fase, polarização e direção de propagação.

A figura 3.1c mostra a emissão estimulada de um fóton por um átomo isolado. Suponha que uma amostra contém um grande número de átomos em equilíbrio térmico à temperatura T. Antes que a amostra seja submetida a qualquer radiação N_0 desses átomos estão no estado fundamental, com energia E_0 e N_x estão em um estado excitado, com energia E_x . Ludwig Boltzmann mostrou que a relação entre N_x e N_0 é dada por,

$$N_x = N_0 e^{-(E_x - E_0)/KT} \quad (3.2)$$

onde K é a constante de Boltzmann. A grandeza KT é uma medida da energia média dos átomos à temperatura T. Quanto maior a temperatura maior o número de átomos excitados pela agitação térmica (isto é, por colisões com outros átomos) para um estado de maior energia E_x [9].

3.3. A Necessidade da Inversão de População

Para gerar a luz de um laser deve-se ter uma situação onde predomine a emissão estimulada. Para conseguir isso, a única forma é ter uma inversão de população, isto é, mais átomos no nível superior do que no nível inferior. O que não condiz com o equilíbrio térmico, de maneira que devemos pensar em outras formas de estabelecê-la.

Além disso, como $E_x > E_0$ a equação 3.2 prevê que $N_x < N_0$ isto é, que sempre haverá menos átomos no estado excitado que no estado fundamental. Isso é exatamente o que se espera se as populações N_0 e N_x , forem determinadas exclusivamente pela agitação térmica. A Figura 3.2a ilustra essa situação [10].

Quando submetemos os átomos da Figura 3.2a a uma radiação de energia $E_x - E_0$ alguns fótons da radiação são absorvidos pelos átomos que se encontram no estado fundamental, mas novos fótons na mesma energia são produzidos, por emissão estimulada, pelos átomos que se encontram no estado excitado. Einstein demonstrou que as probabilidades dos dois processos são iguais. Assim, como existem mais átomos no estado fundamental o efeito total é a absorção de fótons.

Para que o laser produza luz é preciso que o número de fótons emitidos seja maior que o número de fótons absorvidos, isto é, devemos ter uma situação na qual a emissão estimulada seja dominante. Para que isso aconteça é preciso que existam mais átomos no estado excitado que no estado fundamental, como na Figura 3.2b.

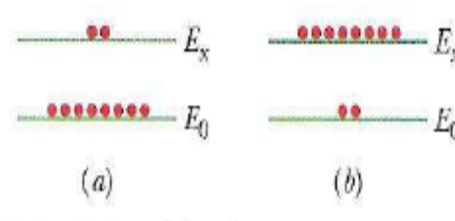


Figura 3.2 – Inversão de população [8].

O mecanismo pelo qual a inversão de população em um meio atômico é obtida é denominada de bombeamento. O bombeamento é responsável não apenas pela excitação dos átomos, como, também, pela inversão de população do meio laser. A descrição completa do mecanismo, em geral requer que os sistemas atômicos envolvidos sejam descritos por mais de dois níveis de energia. A figura 3.3, mostra esquematicamente como se pode estabelecer uma inversão de população no material do laser, de maneira a provocar que ele atue.

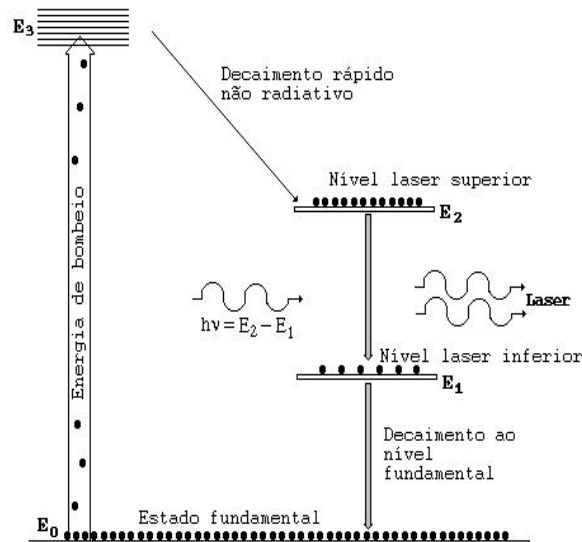


Figura 3.3 – Ciclo de energia em 4 etapas para átomos envolvidos na geração de luz laser [9].

A Figura 3.3, representa o mecanismo de bombeamento, excitando átomos (bolinhas pretas) para o estado de energia mais alta E_3 , decaindo rapidamente para o nível laser superior E_2 sem emitir radiação (transições não radiativas). Como o tempo de vida do nível laser inferior é menor do que o tempo de vida superior, estabelece-se a inversão de população necessária para que ocorra a ação laser. É necessário que o bombeamento seja forte o suficiente para manter o maior número de átomos possíveis nos estados excitados.

Na realidade os processos de bombeamentos mais usados para a obtenção de inversão de população são descargas elétricas em gases e bombeamento ótico. Os mecanismos físicos envolvidos no bombeamento em gases são as colisões diretas de elétrons, da descarga elétrica, com átomos, e a transferência de energia por colisões entre átomos diferentes, como acontece no laser a gás Hélio-Neônio. O bombeamento ótico pode ser feito iluminando o meio laser com lâmpadas de flash pulsadas, com um segundo laser ou com lâmpada de arco como ocorre no laser de rubi [10].

3.3.1 . O Laser de Rubi

Em junho de 1960 Maiman anunciou o funcionamento do primeiro laser cujo meio ativo era um cristal de rubi. O rubi é um cristal de óxido de alumínio contendo um pouco de cromo. Os átomos de cromo formam o meio ativo: são eles que geram a luz laser por emissão estimulada de fótons. Eles são excitados por uma luz externa muito intensa (flash). O átomo de cromo é um sistema de três níveis: a luz externa excita o átomo de cromo do estado fundamental para um estado de vida curta. Desse estado excitado o átomo decai para outro

estado excitado de menor energia. A diferença de energia é dissipada na forma de vibrações no cristal de rubi. Esse segundo estado excitado é metaestável, portanto, conveniente para ser usado na ação laser [11].

Na realidade, o laser de rubi consiste de um bastão cilíndrico com extremidades ópticamente planas, paralelas e refletoras, como mostra a Figura 3.4. Os fótons emitidos que não se movem paralelamente ao eixo fogem pelos lados antes de estimularem muitas emissões. Mas, os fótons que se deslocam ao longo do eixo são refletidos e são capazes de estimular repetidamente. Dessa forma o número de fótons cresce rapidamente e aquelas que saem pela extremidade parcialmente refletora produzem um feixe unidirecional de grande intensidade e comprimento de onda muito bem definido.

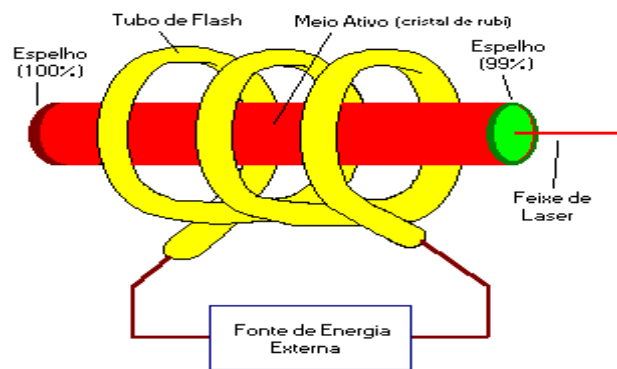


Figura 3.4 - Esquema do Laser de Rubi [11].

3.3.2 . O Laser a Gás Hélio – Neônio

Em laboratórios universitários encontram-se frequentemente lasers a gás como o ilustrado na Figura 2.1. O tubo de descarga contém uma mistura de 80% - 20%, respectivamente, dos gases nobres Hélio e Neônio. Essa mistura está representada esquematicamente na Figura 3.5, onde o gás Hélio é representado por pequenos pontos escuros e o gás Neônio está representado por grandes pontos escuros [12].



Figura 3.5 – Esquema interno de uma cavidade laser contendo uma mistura de Gases Hélio-Neônio [13].

Quando uma corrente elétrica produzida por uma alta voltagem é estabelecida na mistura de Hélio e Neônio, os elétrons e os íons nessa descarga colidem tanto com os átomos de Hélio como os de Neônio, elevando-os para seus estados excitados característicos, com os átomos sofrendo relaxação imediatamente, por meio da emissão espontânea, exceto para o estado de energia E_3 do Hélio, que é um estado metaestável. Uma vez que tal estado tem um tempo de meia-vida relativamente longo, surge uma população de considerável tamanho formada por átomos de Hélio excitados – círculos escuros abertos – Vide Figura 3.6. Esses átomos vagueiam pelo tubo e atuam como fonte de energia para o Neônio, que possui um estado metaestável, E_2 , com energia muito próxima da energia do Hélio excitado, pois no Hélio o nível E_3 corresponde a $20,61eV$ e no Neônio o estado E_2 corresponde a $20,66eV$ [12,13].

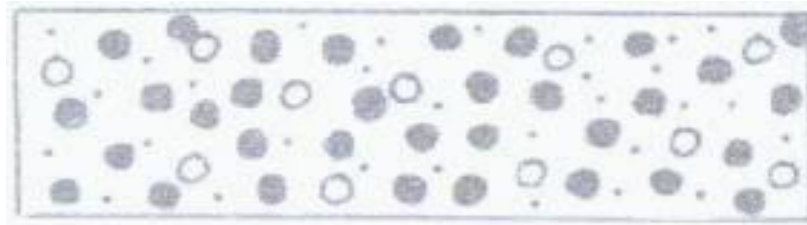


Figura 3.6 – Esquema dos átomos de Hélio no estado excitado - metaestável após uma descarga elétrica [13].

Dessa forma quando os átomos de Hélio no estado metaestável colidem com os átomos de Neônio no estado fundamental, o Hélio cede energia ao Neônio elevando-o a seu estado metaestável (círculo vermelhos abertos) Figura 3.7. O processo continua, e a população de átomos de Neônio no nível E_2 , logo ultrapassa a dos átomos de Neônio que permanecem num estado excitado de menor energia. Essa inversão de população no Neônio é mantida por dois motivos [12,13]:



Figura 3.7 – Esquema dos átomos de Neônio no estado metaestável após colisões com os átomos de Hélio excitado [13].

1) A metaestabilidade do nível E_3 do Hélio garante um rápido fornecimento de átomos de Neônio no nível E_2 , e [14];

2) Os átomos de nível E_1 do Neônio decaem rapidamente para o estado fundamental [14].

A emissão estimulada do estado E_2 para o estado E_1 predomina, produzindo a luz vermelha do laser, de comprimento de onda, mostrado na Figura 3.8. Quando essa energia radiante encontra outros átomos de Neônio excitados, estes são estimulados a emitir fótons exatamente em fase com a radiação estimulada. Os fótons, então saem do tubo em direções aleatórias gerando um brilho avermelhado. A maior parte dos fótons produzidos inicialmente não se propaga ao longo do eixo do tubo, sendo assim, rapidamente freada pelas paredes.



Figura 3.8 – Esquema dos átomos de Neônio emitindo radiação [13].

Por outro lado, os fótons que se movem paralelamente ao eixo do tubo são refletidos, Figura 3.9, nos espelhos que ficam nas extremidades do tubo, Figura 2.1. Os fótons refletidos estimulam novas emissões pelos outros átomos de Neônio, produzindo deste modo uma avalanche de fótons de mesma frequência fase e direção.

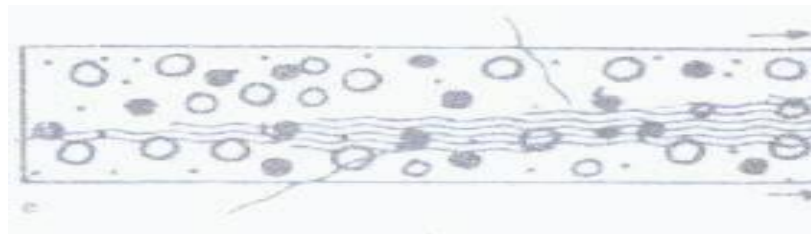


Figura 3.9 – Esquema da reflexão dos fótons que se movem paralelamente ao eixo do tubo [13].

Os fótons se propagam para frente e para trás, entre os espelhos, e são amplificados a cada volta, como mostra a Figura 3.10.

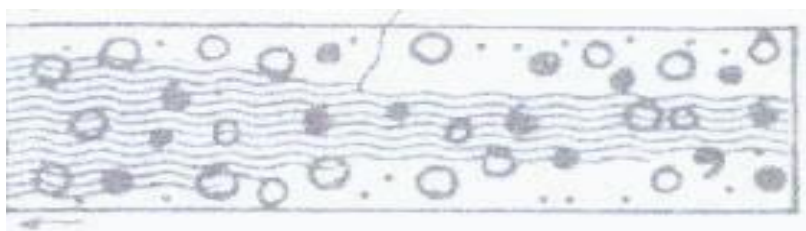


Figura 3.10 – Amplificação dos fótons a cada reflexão [13].

O dispositivo da Figura 2.1 consiste de uma cavidade ressonante ótica que pode ser sintonizada para produzir uma ressonância aguda para um ou mais comprimento de onda. As janelas W que fecham as extremidades do tubo de descarga da Figura 2.1 são inclinadas com o ângulo de Brewster θ_b a fim de minimizar a perda da luz pela reflexão. Os espelhos m_1 e m_2 , são côncavos e têm focos quase no centro do tubo. O espelho m_1 é revestido por uma película dielétrica com espessura cuidadosamente ajustada para que ele se torne um refletor perfeito para o comprimento de onda da luz do laser. Por outro lado, o espelho m_2 é revestido para tornar-se ligeiramente permeável de maneira que uma pequena fração da luz do laser possa “vazar” em cada reflexão, Figura 3.11, formando um feixe útil [14].

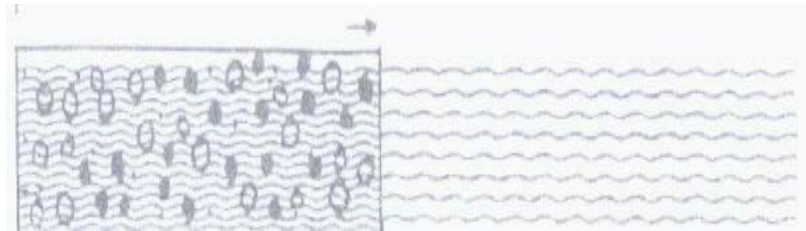


Figura 3.11 – Formação do feixe de Raio Laser. [13]

Capítulo 4

As Variedades do Laser

4.1. As diferenças entre os lasers

Existem muitos modelos de lasers que se diferenciam quanto à intensidade do feixe de luz, ao tipo de radiação, à produção do feixe, bem como ao desenho específico e tamanho da cavidade. Quanto à cavidade pode ser: de dimensões microscópicas ou atingir metros de comprimento.

Em relação à produção de feixes têm-se dois tipos básicos de lasers: o laser de impulso e o de emissão contínua. O laser de impulso fornece uma certa energia em um tempo muito pequeno e com uma potência alta. A potência de pico de lasers pulsados pode chegar a muitos gigawatts. O laser de emissão contínua, vai emitindo sua energia aos poucos, com uma intensidade bem menor.

Nos lasers a base de substâncias gasosas tem-se: o laser atômico, que utiliza à transição de átomos não ionizados entre diferentes níveis de energia; o laser iônico, que é excitado por corrente contínua ou Rádio Frequência (RF); o laser molecular, no qual é preciso quebrar a molécula do gás para haver emissão de luz [14].

Os lasers a gás são excitados por uma descarga elétrica no interior de um tubo com gás muito puro. Os que funcionam na faixa da luz visível possuem Argônio, Criptônio ou uma mistura de Hélio e Neônio. Podem ter a cavidade ótica de 5cm a 5m de comprimento. Os espelhos podem ser montados externamente ao tubo, como na ilustração da Figura 2.1, ou ser instalado diretamente nas extremidades do tubo com gás [15].

Os lasers de estado sólido são constituídos de cristais e vidros isolantes, são lasers excitados por lâmpadas. O laser de rubi ($Cr : Al_2O_3$), foi sendo substituído por lasers sólidos mais eficazes à base de Neodímio, como os lasers de $Nd : YAG$ (granada de Ítrio e Alumínio) e Nd : vidro. Os espelhos de alta reflexão são formados de várias camadas dielétricas, com índice de refração alternadamente altos e baixos [16].

Os lasers de corante, usam líquidos circulantes excitados por lâmpadas ou outros lasers, sendo que um dos mais utilizados é o de Rh6G (rodamina 6G), um material altamente fluorescente, usado pelos primeiros astronautas para marcar a posição de suas cápsulas quando pousavam no oceano [17].

A grande vantagem dos lasers de corante é em relação a sua frequência que pode ser variada continuamente, para isso basta fazer girar um elemento ótico (como uma rede de difração) de modo a selecionar apenas a frequência desejada. Além disso, esses lasers, também podem gerar pulsos extremamente curtos.

São muitos os materiais que podem ser usados dentro da cavidade ótica. Para cada meio ativo obtém-se um tipo de laser. Os meios ativos podem ser:

- a) Gasoso: CO_2 , Argônio, Criptônio, Hélio-Neônio;
- b) Isolantes dopados: Cr^{3+} , Cristais de Nd: YAG, Er: YAG, Ho: YAG ;
- c) Corantes: Corantes orgânicos diluídos em solventes líquidos (rodamina 6G e Cumarina 2);
- d) Semicondutores: Vários tipos de diodo;
- e) Excímeros: Moléculas diatômicas (KrF, XeCl) e químicos – produzidos por reações exotérmicas (HF, CO).

4.2. Tipos de Lasers

4.2.1 . Laser de Argônio e Criptônio

São dois lasers iônicos, que se diferenciam apenas na emissão de frequência em que eles podem gerar. A corrente de ionização desses lasers varia entre 10 e 60 A. É uma corrente de alta densidade, pois é extremamente concentrada dentro do tubo, cerca de 10^3 A/cm^2 .

O laser de Argônio age em duas frequências primordiais: 488nm (azul) e 514,5nm (verde). Já o de Criptônio pode atuar em 4 frequências principais: 476,2nm (azul), 520,8nm (verde), 647,1nm (vermelho) e 568,2nm (amarelo) [12]. Os dois lasers podem trabalhar na faixa de ultravioleta, nessa faixa, eles são utilizados para acionar lasers de corantes sintonizáveis.

4.2.2. Laser a vapor de metal: Cádmio e Selênio

É um laser do tipo iônico. A transição entre os níveis ionizados do vapor de metal é usada para a obtenção da emissão estimulada. O vapor se faz a partir do pré-aquecimento do metal. Nesse vapor acrescenta-se um gás metaestável, no caso do Hélio, que servirá de estímulo, através das colisões, fazendo com que haja transferência de energia e o vapor passe a emitir o raio [13].

4.2.3. Laser Químico

No laser químico, a emissão de energia é obtida por intermédio de reações químicas. Todas as reações químicas liberam energia de diversas formas, o que torna possível a formação do laser, considerado um dos mais potentes. A maior parte desses tipos de lasers emite raio na faixa do infravermelho, entre 1,06 e 10,6nm [14].

4.2.4. Excimer Laser

Esse laser consiste de átomos de um gás raro e átomos de um halogênio quimicamente instável, unidos no estado de excitação. Esses átomos, no estado excitado, apresentam um intervalo de tempo de vida longo. A estimulação é realizada por descarga elétrica e o feixe conduzido por fibra ótica de quartzo [15].

4.2.5. Laser de IAG/Nd: Vidro

São lasers que utilizam cristais iônicos dopados ou bastões de vidro, bombardeados óticamente, através de uma ou mais lâmpadas tipo flash, de Xenônio, ou com fontes contínuas de luz, lâmpada de Criptônio [16].

Os elementos ativos do rubi são os íons do Cromo. No de YAG/Nd é o Nd o elemento dopado. Quando os fótons da lâmpada excitadora atingem o material dopado, transferem, sua energia ao material e ocorre então a emissão de novos fótons.

O laser de Nd/vidro trabalha somente em regime pulsado, devido à baixa condutividade térmica do vidro, tendo uma grande faixa de transição de frequência (30 a 40nm) pelo fato da inexistência de homogeneidade nos cristais.

4.2.6. Laser de CO_2

O laser de CO_2 é do tipo molecular. Para a excitação das moléculas do gás, o dióxido de carbono é misturado com o nitrogênio e o Hélio o que aumenta sua condutividade térmica. Sua estimulação é feita por descarga elétrica [10]. São os lasers a gás mais eficientes e operam na faixa do infravermelho.

4.2.7. Laser de Nitrogênio

Os lasers de Nitrogênio são do tipo molecular, tendo como características um raio no comprimento de onda do ultravioleta [10]. Apresenta uma forma de vida muito curta, portanto só pode operar no regime pulsado.

4.2.8. Laser de Alexandrita

Nesse laser o meio ativo é um cristal, Alexandrita Ionizada, estimulada por flash [11].

4.2.9. Laser Semicondutor

Algumas junções semicondutoras são eficientes na emissão do raio laser. Geralmente são excitados por corrente elétrica, feixe de elétrons ou bombardeamento ótico. Os mais utilizados são o AlGaAs com comprimento de onda de 620-900nm e GaAs no infravermelho próximo de 820-920nm, conduzidos por fibra ótica [12].

Duas camadas do semicondutor $\text{Ga}_{0,7}\text{Al}_{0,3}\text{As}$ confinam a luz e os portadores de carga elétrica a uma camada de GaAs (camada laser), formando uma heteroestrutura dupla. Neste tipo de laser os espelhos são simplesmente duas superfícies do cristal de GaAs afastadas a uma distância da ordem de $200\mu\text{m}$ [13].

Graças ao pequeno tamanho, alta eficiência, facilidade de modulação, alta durabilidade e baixo custo, os lasers semicondutores são os tipos mais usados atualmente.

Capítulo 5

Laser e suas Aplicações

5.1. Laser na Medicina

5.1.1. Introdução

Sem dúvida, um dos grandes avanços na área médica, foi o desenvolvimento dos aparelhos de laser. A aplicação de diferentes tipos de lasers possibilitou uma grande alteração nos procedimentos médicos pois, proporcionou uma grande redução do tempo de duração das cirurgias, no tempo de recuperação dos pacientes, nas complicações pós-operatórias, na redução de edemas e, não podemos deixar de relatar uma importante ferramenta que, é fundamental em quase todas as áreas: *o bisturi-laser*.

5.1.2. Bisturi-Laser

Há vantagens na utilização do Bisturi-laser. Uma delas é que, com seu calor, o corte cauteriza rapidamente, resolvendo os problemas constantes de hemorragia e infecção.

Devido a não existirem aparelhos lasers tão reduzidos de uso facilitado, construiu-se o *bisturi-laser*, adaptado a um laser fixo com um dispositivo que dirige seu feixe luminoso para a região desejada. O raio é introduzido em um braço provido de vários dobramentos que permitem rodá-los em vários sentidos. O conjunto pode, por isso, ser esticado ou dirigido à vontade, apesar de ser composto por partes rígidas. O aparelho assim comprido tem certa semelhança com os braços de motores usados por dentistas [18].

Em cada dobra existe um prisma P , que efetua o desvio do feixe, para conduzi-lo na direção correta. Ele chega, assim, a uma espécie de empunhadura que está na mão do cirurgião. Nela, existe um sistema ótico que concentra o raio laser de modo a aumentar a sua intensidade e possibilitar finos cortes, como mostra a figura 5.1.

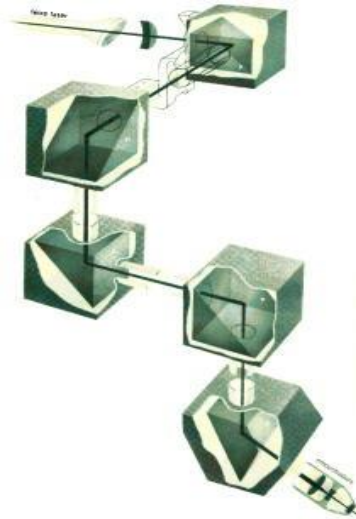


Figura 5.1 – Figura interna de um Bisturi-Laser [18].

5.2. O Laser na Oftalmologia

O uso do laser na medicina deu-se a partir da década de 50, e teve como pioneira sua aplicação na área da Oftalmologia. Nos anos 60, a empresa Zeiss Optical Company, construiu o primeiro laser fotocoagulação de Xenônio, que emitia luz branca. Existindo também a utilização de 6 tipos de lasers: Rubi, Argônio, Xenônio, Criptônio, Nd/YAG e Excimer, liberando potência em curtos espaços de tempo e exibindo um ponto de luz entre 50 e 2000 μm [19].

Na Oftalmologia é necessário trabalhar com frequências variadas, pois cada tipo de célula absorve melhor uma determinada frequência, em detrimento dos demais. Sendo usado na fotocoagulação de vasos sanguíneos em tratamentos de tumores, em cirurgias oculares, em alguns tipos de cataratas, glaucomas, e úlceras de córnea.

Nas cirurgias oculares, utiliza-se a fotocoagulação para o descolamento de retina. Para tanto, utiliza-se um laser a Rubi, cujo feixe é concentrado e dirigido para o interior do olho, de forma a passar através da pupila sem tocar na íris, que, de outra maneira, seria danificada. O feixe queima uma área muito restrita da retina, e a coagulação do sangue prende-a a parte interna do bulbo ocular, como mostra a figura 5.2.



Figura 5.2 - Laser de Rubi, usado nas cirurgias oculares [19].

As operações feitas com os lasers de Argônio, Criptônio, Nd/YAG são realizadas através de microscópio para onde o raio é levado através de fibras ópticas. Esse método prevê várias proteções, tanto para o paciente quanto para o médico. Por exemplo, costuma-se incluir um filtro no microscópio, com a finalidade de proteger o médico contra qualquer reflexão vinda dos próprios olhos do paciente. Além disso, faz-se com que o laser se desligue automaticamente caso ocorra uma variação de intensidade de luz não especificada pelo médico.

Todos esses lasers (Rubi, Argônio, Criptônio e Nd/YAG) pedem guia de luz, a fim de haver uma clara indicação de onde o ponto de luz vai ser aplicado. Assim, nos lasers de Argônio e Criptônio utiliza-se filtro atenuador, para que o próprio raio sirva de guia; já nos outros dois é preciso usar laser de baixa potência separado como referência [20].

O Excimer laser, através do princípio da fotoablação (retirada de uma pequena parte ou superfície do corpo através de um feixe luminoso), torna possível tratar miopia e astigmatismo apenas com a mudança da curvatura da superfície da córnea. A vantagem desta técnica em comparação com a cirurgia refrativa por incisões é sua segurança e precisão.

Através do uso do Raio Laser se corrigi defeitos oculares. Pois, é através de um feixe muito pequeno de átomos que o Laser age na superfície obtida corrigindo o defeito ocular, como mostra a figura 5.3.



Figura 5.3 – O uso do Raio Laser nas cirurgias oculares [20].

5.3. O Laser na Odontologia

A partir de 1990, o laser começou a fazer parte das clínicas odontológicas. O tipo mais utilizado nos tratamentos clínicos é o laser de baixa potência, com ação analgésica, antiinflamatória e bioestimulante, ajudando na regeneração dos tecidos. É aplicada no tratamento de aftas e herpes labiais, incisão ou remoção de tumores e lesões, vaporização de tecidos em operações plásticas e tratamentos gengivais e como auxiliar no tratamento de canal [21,22].

Apesar do laser de baixa potência ter inúmeras contribuições para a sua utilização, os maiores avanços e potenciais de aplicação, estão nos lasers de alta potência, como o Hólmio. O laser de Hólmio é capaz de tornar mais rápido o tratamento e a recuperação do paciente, com menos dor. A perfuração feita no dente pelo raio deste laser não carboniza e nem trinca a dentina, camada situada logo abaixo do esmalte.

O laser de Argônio, que é um laser cirúrgico, promove o clareamento dental com mais rapidez e eficiência. Com o laser de CO_2 obtém-se resultados muito favoráveis para a realização de cirurgias de tecidos moles bucais [23].

São muitas as possibilidades de aplicações dos lasers na odontologia, como clareamento dental, esterilização, perfurações de certos tipos de cáries; na confecção de dentaduras, etc.

5.4. O Laser na Informação

A luz dos lasers pode ser utilizada para a transmissão de informação. A leitura ótica de informações é uma importante aplicação dos lasers, sendo que as informações originais podem ser impressas, como ocorre com o código de barras nos produtos dos supermercados, das lojas ou gravadas na forma de pequenas depressões, em um disco, como nos CDs.

A leitora de código de barras dos supermercados utiliza o laser de Hélio e Neônio para leitura do código de barras impressas nas embalagens dos produtos, o qual podemos observar na figura ilustrada. (Vide Figura 5.4).



Figura 5.4 - Ilustração do Código de Barra [24].

A luz é refletida nas barras e nos espaços em branco do código e detectada como um sinal luminoso. O detector converte o sinal luminoso em um sinal elétrico, que é enviado a um computador, que digitaliza e processa as informações das espessuras e dos espaçamentos das barras. Quando o feixe é refletido pelo espaço em branco o valor do sinal se eleva consideravelmente, porém cai quando refletido por uma barra escura [25].

Todos os reprodutores de CD e os leitores de CD-ROM contém laser em seu funcionamento, esses aparelhos usam laser de diodo semiconductor para ler os sinais digitais gravados em um disco de metal plástico. Nos DVD's a indústria construiu novos lasers de diodo para melhorar a capacidade de dados no CD, com isso os sistemas de CD e videodisco usam um disco com pequenas depressões para armazenar informações de áudio ou de vídeo. Esses discos são gravados por um laser de alta intensidade, modulado pelo sinal que se deseja gravar. O CD player contém um pequeno laser semiconductor cuja luz é refletida pelo disco, a menos que se tenha um buraco na camada refletora. O sinal resultante, que depende da rotação do disco, é captado por um detector e convertido em um sinal digital que possui as informações originais [25].

As impressoras à laser usam sinais elétricos para modular a luz produzida pelo próprio laser, as informações também podem ser passadas para um raio luminoso. As mesmas fazem uso de um laser semiconductor e o princípio da xerogravura. A luz do laser é focalizada e dirigida para um cilindro de Selênio, provocando o surgimento de cargas elétricas localizadas, sendo usadas para atrair as partículas de Carbono do toner. Ao colocar uma folha de papel em contato com o cilindro de Selênio, o toner é transferido para o papel e fixado pelo calor. Essa impressora à laser só foi possível com o desenvolvimento de um laser semiconductor de potência relativamente alta na faixa da luz vermelha, para o qual o Selênio é mais sensível.

Na Internet, por exemplo, você está lendo uma página de cultura, as informações que, estão ali vieram de outro computador através de fibra ótica (quase sempre) que usa também laser de diodo para que isso aconteça. Com isso, nos sistemas óticos de comunicações, usa-se um laser modulado que produz um feixe luminoso que leva informações até um detector podendo está localizado a quilômetros de distância.

Nos sistemas que trabalham com satélites, a comunicação é feita por visada direta e usam, neste caso, o laser de Nd/YAG, modulado por cristal de $LiNbO_3$, que funciona como um obturador.

5.5. O Laser na Indústria

Os lasers de CO_2 focalizados são utilizados em muitas aplicações industriais que precisam de uma fonte de calor concentrada, como é o caso da soldagem dos cabos de painéis. A importância do laser, encontra-se no fato de que a panela é constituída de cobre, que é um metal de alta condutividade térmica, fazendo com que o calor se distribua rapidamente, cozinhando rapidamente o alimento. Porém, o cabo é feito de aço inoxidável, apresentando uma baixa condutividade térmica para facilitar o manuseio. Com essa diferença de condutividade térmica os processos convencionais de soldagem não funcionam eficientemente, mas com o laser essa diferença não prejudica a soldagem, pois produz um intenso calor reduzindo drasticamente o tempo de soldagem.

A indústria usa o calor localizado do laser para tratar superfícies. No endurecimento da superfície do eixo de excêntricos usados nos automóveis, se o eixo inteiro fosse aquecido em um forno, ocorreria uma inevitável deformação, podendo prejudicar o funcionamento da peça. Com o laser é possível aquecer apenas a superfície, mantendo relativamente frio o resto da peça [26].

A associação dos lasers a computadores torna viável o corte automático de peças de tecidos. No computador são programados os tamanhos das roupas, ele controla a posição de um espelho e direciona a luz do laser para a peça a ser cortada. Além dos tecidos, o raio laser também é usado para cortar metal e papel.

Os feixes de raio laser podem ser usados para analisar a chama produzida pela queima de uma substância combustível, como ilustrada na Figura 5.5.

A análise da chama permitirá a construção de motores de combustão mais eficientes e que deixem de ser tão poluentes quanto os atuais.

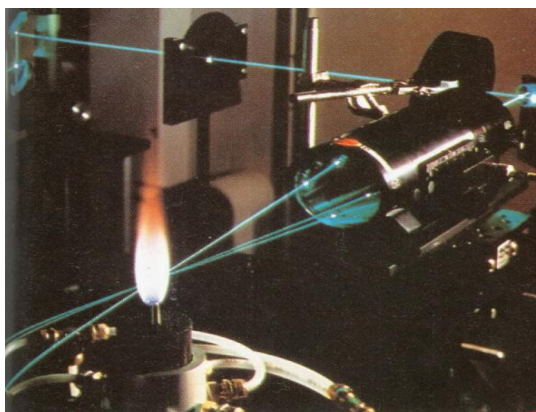


Figura 5.5 – Análise de uma chama através de feixes de Raio Laser [26].

Com a produção de feixes de luz de alta precisão, os lasers são utilizados em vários estágios de fabricação dos circuitos integrados e outros dispositivos eletrônicos. A resistência final de alguns resistores é ajustada com o auxílio de um laser que remove pequenas partes do material usado.

5.6. O Radar Laser

O radar laser - lidar - possibilitou medir com grande precisão a distância entre a terra e a lua. Os primeiros astronautas a ir à lua, deixaram na superfície lunar um “refletor de canto”, isto é, um espelho especialmente construído que reflete a luz na direção de onde ela veio, independentemente da orientação. Um laser de rubi pulsado foi colimado por meio de um telescópio no Texas e apontado para o refletor de canto dispositivo na lua, a luz do laser foi refletida de volta para o mesmo telescópio. Ao medir o tempo de percurso do sinal luminoso, fez-se possível calcular a distância entre a terra e a lua com precisão de alguns centímetros [27].

5.7. O Laser e a Holografia

A Holografia é uma das muitas aplicações do laser, desenvolvida na década de 60 [28].

Olhado casualmente, um holograma, assemelha-se a um negativo fotográfico apresentando propriedades extraordinárias. Apesar dele ser uma superfície estritamente bidimensional, quando observado através de luz de uma só cor, enxerga-se uma imagem tridimensional completa flutuando no espaço, tanto na frente, como atrás do negativo, conforme ilustrado na Figura 5.6. Um menino observa um holograma circular, iluminado por um laser formando uma imagem 3D.



Figura 5.6 – Figura de um Holograma Circular [29].

Na produção de um holograma, parte de um raio laser é refletida por um objeto e parte por um espelho. Os dois feixes de ondas de luz se sobrepõem, e seu padrão é gravado sobre uma chapa fotográfica, criando o holograma.

Na Figura 5.7, podemos visualizar que o raio laser é dividido em duas metades, onde uma metade brilha sobre o objeto, que reflete a luz do laser, e essa luz se mistura com a outra metade do raio, chamado raio de referência, criando padrões chamados franjas de interferências. O Holograma é uma fotografia desses padrões e não se pode ver nada na chapa do holograma.

Vale ressaltar que a imagem no negativo não parece nada com aquela que é vista flutuando no espaço.

O físico húngaro Dennis Gabor descobriu a técnica da holografia em 1948, porém só com o advento do laser é que começou a ser mais bem difundida. O laser produziu o tipo de luz ideal para fazer bons hologramas [30].

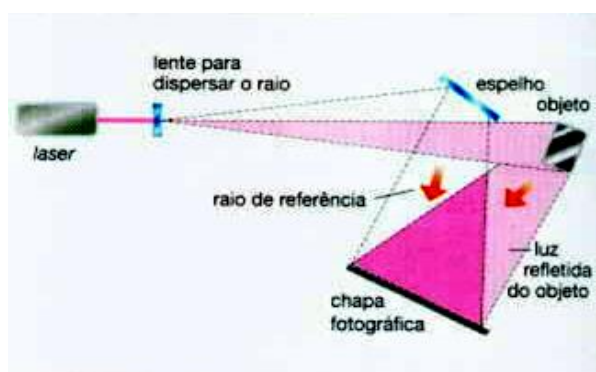


Figura 5.7 - Esquema da Produção de um Holograma [30].

Para ver a imagem gravada no holograma, é preciso incidir sobre ele mesmo o tipo de luz laser que foi utilizado para fazê-lo, então, olhando através do holograma, enxerga-se o objeto como se realmente ele existisse, embora tenha a cor da luz laser.

O holograma é usado para se produzir tanto bonitas imagens quanto testes em fábricas. Eles podem mostrar pequenas diferenças entre coisas que deveriam ser exatamente iguais.

Capítulo 6

Advertências quanto ao uso do Laser

6.1. Os Cuidados com o Laser

Os procedimentos que garantem segurança quanto ao uso do laser na Medicina e Odontologia devem ser levados em consideração com máxima preocupação, mas muitas vezes são desconhecidos ou negligenciados. Muitas regras de segurança colocadas por fabricantes e entidades de pesquisas e de trabalho em todo mundo, deixam em última análise, a proteção dos olhos, da pele, riscos de queimaduras, exposição à radiação e riscos de incêndio.

O laser transfere para os tecidos uma potência muito superior a qualquer outra fonte de luz, incluindo os raios solares, sendo que essa potência aumenta ainda mais nos picos emitidos pelo laser pulsado. Os aparelhos de lasers são classificados de acordo com sua potência e de seus efeitos sobre os tecidos. Cada classe corresponde a um Limite de Emissão Acessível (LEA) [31].

➤ Classe I: Mesmo com exposição demoradas, os lasers da Classe I não representam nenhum perigo, pois o limite de exposição não será jamais alcançado [32];

➤ Classe II: Os lasers dessa classe emitem radiação visível e os olhos podem ser protegidos apenas pelo reflexo do piscar. A potência desses lasers é limitada ao LEA da Classe I por um tempo máximo de exposição de 0,2s [32];

➤ Classe III a: São os que já representam perigo para o meio ambiente, porém, pouco perigoso se emitirem radiação com um comprimento de onda por volta de 470nm. O reflexo de piscar, se o tempo de exposição for limitado a 0,2s, ainda protege os olhos [32].

➤ Classe III b: São considerados perigosos ao atingirem diretamente a visão, porém se refletidos por difusão de um feixe desfocalizado e mantida a distância mínima de 13cm e um tempo de exposição máximo de 10s, pode-se evitar esse risco [32].

➤ Classe IV: Até por reflexão difundida, os lasers dessa classe, são considerados perigosos. Podem trazer danos aos olhos, pele e provocar incêndios [32].

É necessário estar alerta de que diferentes tipos de lasers concentram diferentes quantidades de energia. Enquanto 90% da energia do raio laser de CO_2 é absorvida dentro de uma profundidade de 0,2nm. Com o laser de Argônio essa profundidade aumenta para 0,4nm

e para 2,0nm, Com o laser de Nd: YAG. Em função das diferenças entre os diversos tipos de lasers, deve-se ter equipamentos de segurança adequada para cada um deles.

6.2. Segurança Pessoal

Os cuidados pessoais devem incluir equipamentos de proteção individual como óculos e cuidados com a exposição direta ou por reflexão do raio, além do uso de anestésico e equipamentos com a anestesia.

É importante lembrar que alguns lasers operam na faixa de luz invisível, como o laser de CO_2 que atua na faixa do infravermelho. Para evitar acidentes, o laser é alinhado com um raio de laser de He-Ne de baixa potência que serve de mira e como marcador para o raio invisível [33].

Assim como podem causar danos ao meio ambiente, os lasers podem provocar lesões às pessoas expostas ao seu contato. Não se pode esquecer que existem raios laser que operam em diferentes faixas do espectro luminoso, e portanto tem diferentes comprimentos de onda, o que necessita de diferentes óculos para uso pessoal.

6.3 . A Segurança quanto ao Meio Ambiente

Os cuidados com o meio ambiente incluem sinalização de áreas controladas e de acesso restrito, bem como disposição e adequação dos materiais, instrumentos e substâncias mantidas no local do laser. Deve existir uma zona controlada e de acesso exclusivo ao pessoal bem familiarizado com a utilização do laser e com os procedimentos de segurança [34].

Símbolos internacionais devem ser empregados, sinais luminosos como “*Laser em uso, não entre*” devem ser colocados nos acessos. Nos locais onde se está trabalhando com o laser deverão permanecer livres de materiais inflamáveis ou reflexivos.

Capítulo 7

Considerações Finais

O Laser trouxe uma nova tecnologia, com a perspectiva de se ter apenas começado a desenvolvê-la.

O futuro para as aplicações dos Lasers parece ilimitado, pois profissionais de todas as áreas tendem a incorporá-lo no seu trabalho diário, alcançando vantagens que outros instrumentos jamais proporcionam. De fato, o conhecimento sobre o Laser, não está mais restrito somente aos físicos, mas está espalhando-se por todos os ramos do conhecimento humano. Pode-se dizer que o interesse pelos benefícios da luz do laser é de todos.

Reconheço, após a realização deste trabalho, que um estudo mais profundo da Física que envolve o Laser requer uma busca de conhecimento em literaturas mais avançadas nas áreas em que a teoria do laser e sua aplicabilidade se insere, como: a Mecânica Quântica, a Eletrodinâmica Clássica e Quântica e Mecânica Estatística, Eletrônica, Espectroscopia de átomos e moléculas, e outras.

Neste trabalho falei somente de alguns tipos de lasers, porém, na realidade, existem mais de 100 tipos diferentes emitindo radiações monocromáticas e coerentes com diferentes níveis de potência de saída.

Analisando o Processo Histórico do Laser, notei algumas controvérsias quanto às datas fornecidas em relação a alguns acontecimentos referentes ao desenvolvimento do laser. E, aprendia grande lição de que o homem não domina todo conhecimento, ao ler que os colegas de Townes gostavam de provocá-lo dizendo que a invenção do laser era uma solução à procura de um problema. Hoje sabemos que o laser resolve inúmeros problemas e consideramos os melhores obstáculos superados os que dizem respeito a vida.

Verifiquei, diante das fantásticas aplicações do Laser, que o trabalho com o mesmo requer responsabilidades que se negligenciadas prejudicam o verdadeiro objetivo de funcionamento desse dispositivo para o homem. Sem dúvida os lasers do passado eram mais difíceis de manusear e não existia sistema de transmissão conveniente, porém o constante desenvolvimento dos equipamentos laser, dos sistemas de transmissão de energia e o aprimoramento das técnicas tornaram, principalmente, mais seguro o uso do laser.

Espero que muitas aplicações dos lasers sejam pesquisadas e colocadas de imediato a serviço da humanidade, auxiliando o homem a alcançar melhores condições de vida.

“Que o laser seja sempre uma conquista para a vida e não para a morte”.

Referências Bibliográficas

- [1] BRUHNS, H. T. (org.) *Introdução aos estudos de lazer*. Campinas: Editora Unicamp, 1997.
- [2] EISBERG, Robert, RESNICK, Robert, *Física Quântica*. Tradução de Paulo Costa Ribeiro, Ênio Frota da Silveira e Maria Feijó Barroso. Rio de Janeiro, 1988.
- [3] CAMARGO, L. O. L. *O que é lazer*. São Paulo: Brasiliense, 2003.
- [4] COSTA, Hercílio A. *Curso de Física Moderna*. 6 ed. São Paulo, Ática, 2003.
- [5] CIVITA, Victor. *Ciência Ilustrada*. SP: Abril Cultural S.A., V. 6, 10 e 11, p. 2465, 4373, 4455, 4456, 4495, 4556, 4582, 1971.
- [6] BAGNATO, V. S. *Os fundamentos da luz laser*. Física na Escola, São Carlos, v.2, n.2, p.4-9, 2001.
- [7] MÁXIMO, Antônio, ALVARENGA, Beatriz. *Curso de Física*. 5. ed. São Paulo, Scipione, 2000, volume 3.
- [8] HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. *Fundamentos da Física*. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. volume 4.
- [9] MATZNER, Helvio. *Laser: a ferramenta que é pura energia - I*, Nova Eletrônica. SP: Artes Gráficas Guarú S.A., Ano VI, Nº 74, Abril, p. 22 - 29, 1983.
- [10] BARROS, Carlos, 1934. *Física e Química*. 3 ed. São Paulo, Ática, 2001.
- [11] VASCONCELLOS, Elza. *O laser*. São Paulo, 2001.
- [12] CRUZ, Daniel, 1993, *Química e Física*. ed. São Paulo, Ática, 2002 – Ciências e Educação Ambiental).
- [13] ARAUJO, C. B.. *Chaveamento da Luz*. Ciência Hoje, 36, 51 (1989).
- [14] TIPLER, P., *Física*, vol.4, Editora Guanabara Koogan S.A., 3ª. Edição, 1994.
- [15] CATELLI, Francisco, Leandro PAVAN, Rodrigo BERNARDI *Medida do índice de refração de um gás com laser de diodo*. Apresentado no CRICTE 99, UFSM, em 9, 10 e 11 de julho, 1999.
- [16] LOPES, LML. *Contribuição ao Estudo do Laser de Nd: YAG como Coadjuvante à Terapêutica Periodontal*. Estudo Clínico. [Dissertação] São Paulo: Universidade Paulista – UNIP, 2000.
- [17] PARANÁ, Djalma Nunes da Silva. *Física*. 6. ed. São Paulo, Ática, 2003.

- [18] SIQUEIRA, Arnaldo Augusto Franco. *Laser na medicina*. Periódicos Científicos - Faculdade de Saúde Pública (FSP). Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, SP, Brasil, 1994.
- [19] CONSELHO BRASILEIRO DE OFTALMOLOGIA - CBO. *Doenças Externas Oculares e Córneas*. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 2008.
- [20] Montilha RCI de, Nobre MIRS, Gagliardo HGR. *Atuação terapêutico-ocupacional junto a pacientes com transtornos da visão*. In: De Carlo MMR do P, Luzo MC de M. *Terapia ocupacional: reabilitação física e contextos hospitalares*. São Paulo: Roca; 2004. p.276-91.
- [21] MELLO, J. B.; MELLO, G. P. S. *Laser em Odontologia*. 1. ed. São Paulo: Ed. Santos, 2001.
- [22] ALMEIDA, L. *Laserterapia na Odontologia*. Biodonto. 2004;1:11-53.
- [23] BASSANI, A. C.; BASTOS, J. R. M. *Considerações sobre o raio laser e sua aplicação em Odontologia*. Odontologia Capixaba, Vitória, v. 20, n. 21, p. 36-39, 1992.
- [24] REQUIXA, Renato. *As Dimensões do Lazer*. São Paulo: Sesc / Celazer, 1974.
- [25] BACAL, Sarah S. *Lazer: teoria e pesquisa*. São Paulo: Edições Loyola, 1988.
- [26] TAVARES, *Silvio*. *Automatização de produção em indústria tradicional: a aplicação do laser na indústria*. Embaixada do Brasil, Paris, Setor de Ciência e Tecnologia, Série Monográfica, no. 3, julho 1985.
- [27] Brandalize, M. C. B.; Philips, J. W.: *Laseres nos Levantamentos Terrestres*. Revista InfoGeo, Ano 4, No. 22, Jan/Fev 2002, p. 52-55.
- [28] Mariano A. Rico, "*Holografia*". Publicação da Universidade de Alicante 1985.
- [29] Lunazzi, José Joaquim, "*Holografia a luz congelada* ", Ciência hoje, jan/fev 85.
- [30] Lunazzi, J. J., Wickert, L. "*Um equipamento prático para holografia interferométrica*". Anais do V simpósio nacional de ensino de física, Belo Horizonte 1982.
- [31] MARCELLINO. N. C. *Lazer e Humanização*. Campinas: Papyrus, 1995.
- [32] Pinheiro, A.L.B.- *Normas De Segurança Quando Da Utilização De Lasers De Co2*. Rev. Bras. Med., 51(8):1142-8,1994.
- [33] SILVA, Paulo Maurício. *Ambiente: componentes e interações: ciências*. v.4. – S.R. Fontinho, São Paulo: companhia Editora Nacional, 1996.
- [34] ATKINS, P, JONES, L. *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. 3ª edição, Porto Alegre, Bookman, 2006.