



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

INSTITUTO DE FÍSICA
LICENCIATURA NOTURNA
DISCIPLINA: PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO
CÓDIGO: FIWK01

Projeto Final

A APLICAÇÃO
DA ÓPTICA NO ENSINO MÉDIO
COM A UTILIZAÇÃO DO LASER

PROF. ORIENTADOR: TEÓCRITO ABRITA
ALUNO: ALEXANDRE BRANDÃO DOS SANTOS

MAIO DE 2000

06/2000



I) INTRODUÇÃO

O laser, desde sua descoberta na década 60 por Theodore Maiman, vem sendo aplicado em diversas áreas com bastante eficiência e sucesso, sendo assim, vem fazendo parte do dia-a-dia dos alunos do ensino médio com maior frequência¹. Em alguns espetáculos, por exemplo, sobretudo em concertos de rock, podemos observar finos feixes de luz de diversas cores que se elevam para o céu em linha reta, as caixas de supermercados usam o laser para ler os códigos de barra, os CD-players usam a mesma idéia de leitura, alguns sinais telefônicos também são transportados por pulsos de laser através de fibras ópticas, etc...

Antigamente para conseguirmos um emissor de laser (para realização de experiências), tínhamos que desembolsar em torno de US\$ 500,00. Hoje em dia, existem as canetas lasers (apontadores) que custam em torno de R\$ 30,00 nas lojas e podem ser encontradas no comércio popular por um preço ainda menor. Embora não consigamos com este equipamento demonstrar todas as aplicações do laser, podemos realizar e sugerir algumas experiências que irão deixar os alunos do ensino médio mais informados a respeito deste e com isso, aumentaremos a compreensão deles sobre a utilização do laser.

II) OBJETIVO

Apresentar o histórico do desenvolvimento do laser, dos equipamentos que utilizam o laser e, montar e testar experiências utilizando o laser como fonte de luz.

III) JUSTIFICATIVA

Busco nesse projeto de final de curso, atender a Proposta Preliminar para a Física no Ensino Médio, elaborada por solicitação da Secretaria de Ensino Médio e Tecnológico (SEMTEC/MEC), que foi encaminhada ao Conselho Nacional de Educação em junho/97 sendo debatida e consolidada em Resolução em julho/98. Esta proposta traz diretrizes para a elaboração do ensino médio enfocando o processo de ensino-aprendizagem, a metodologia, as estratégias e propostas educacionais, e visa que

em decorrência do aprendizado desta disciplina e da tecnologia a ela relacionada, os alunos possam desenvolver as habilidades básicas e específicas referentes. Sendo assim, esta resolução, em última instância, objetiva o aprendizado efetivo e aplicado da disciplina tendo como meta a formação do cidadão num sentido universal.

Com o avanço do conhecimento e tecnologia humana o estudo da física passou a ser indispensável para a boa formação do ser humano e compreensão da dinâmica universal, já que boa parte do entendimento do mundo moderno visa a prática concreta das teorias e leis na qual esta ciência está baseada. O bom entendimento desta disciplina certamente ajudará o aluno a interagir e interessar-se mais pelas coisas que estão ao seu redor abrangendo desde o mais simples como a reflexão da luz até tecnologias mais avançadas como a comunicação por meio de fibra óptica.

Entretanto, a física que é ensinada ou “jogada” aos alunos na maioria das nossas escolas no ensino médio é baseada principalmente, em conceitos, fórmulas, teorias, leis estando tudo desarticulado do mundo e dos interesses dos alunos. Não há uma preocupação com a prática eficaz do que é ensinado ou com a possibilidade destes ensinamentos serem aplicados no dia-a-dia. Visa-se mais a memorização do que o aprendizado no sentido mais amplo da palavra. O objetivo não deve ser decorar tudo que já foi dito por Galileu, Newton, Einstein como algo estagnado, mas em constante desenvolvimento e transformação despertando nos alunos a sede do saber, não por mera necessidade, mas por real interesse.

Esta carência no ensino não é causada apenas por despreparo dos professores ou por condições escolares deficientes, mas por uma deformação estrutural que passou a ser tomada como natural. Sendo assim, precisamos rediscutir a física e definir um modo eficaz de ensiná-la. Não temos um modelo pronto de mudança mas certamente o ponto de partida está na vida do jovem, incluindo os fenômenos e objetos ao seu redor e suas curiosidades.

Com isso, o conhecimento da física em “si mesmo” não basta como objetivo, mas deve ser entendido como um instrumento para compreensão do mundo, possibilitando que o aluno compreenda o seu significado no momento que está aprendendo e não posteriormente. Sendo assim, o tópico denominado física moderna deve ser trabalhado ao longo de todo o curso, já que os conhecimentos e a linguagem física estão amplamente inseridos no mundo contemporâneo.

Neste projeto venho propor uma forma prática e aplicada para o ensino de alguns fenômenos ópticos como a reflexão regular e difusa, a refração, a absorção e a difração,

através do uso do laser, visando despertar maior interesse dos alunos com demonstrações simples de serem aplicadas numa sala de aula e por conseguinte despertar a curiosidade deles para as aplicações do laser nos dias de hoje mostrando como a Física está inserida no seu cotidiano².

IV) DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Os lasers produzem um raio de luz muito intenso e muito estreito. Primeiro, porque a luz do laser tem uma cor pura, pois sua banda espectral é muito estreita. Segundo, suas ondas se propagam em tempos exatamente iguais, ou seja, estão em fase. Sendo portanto sua luz coerente. A luz comum não é coerente; é uma mistura de cores cujas ondas são emitidas em emissões desorganizadas. Um bom exemplo prático é a comparação entre um intenso feixe de um laser He-Ne que emite 6328 Å com a emissão de um tubo de Ne em um cartaz luminoso. No primeiro caso temos uma banda estreita em torno de 6328 Å de luz coerente, no segundo caso temos uma banda mais larga de luz incoerente³.

↪ Para melhor entender-mos como o laser é obtido, vamos nos informar a respeito de alguns conceitos necessários para o seu entendimento:

IV.I) Natureza da Luz

➤ Teoria corpuscular:

A ótica é constituída pela ótica geométrica, pela ótica fisiológica (olho humano), e pela ótica física que é o estudo da natureza da luz.

O filósofo Platão adiantou a primeira noção sobre a natureza da luz. Dizia ele que a luz era uma espécie de emanção que partia dos olhos do observador em direção ao objeto que se olha. Outra teoria que prevaleceu até o século XVIII. Foi a d que a luz era formada por uma emissão de partículas, ou corpúsculos dotados de uma grande velocidade e que eram lançados ao espaço por um corpo luminoso. Esta teoria foi aceita por muitos cientistas, pois postulava a simples transferência de energia mecânica sem necessidade de contar com um meio espacial como portador daquela energia.

Não era possível através desta teoria explicar a refração⁴.

➤ Teoria ondulatória:

Christian Huyghens, descontente com a teoria corpuscular, formulou outra hipótese segundo a qual a luz se transmite em forma de impulsos longitudinais propagados através de um meio hipotético denominado éter luminoso.

Podia-se desta forma explicar os fenômenos de reflexão e refração. Seu objetivo principal era predizer que a velocidade da luz na água devia ser menor que no ar. Os inimigos da teoria ondulatória argumentavam que as ondas luminosas, casos existissem, deviam desviar-se ao passar perto da borda de objetos (difração), mas não se havia observado nenhum desvio da luz, principalmente pela razão de que ninguém havia pensado em colocar em frente da luz obstáculos de magnitude compatível com o comprimento de onda da luz.

Um famoso experimento realizado em 1887 por Michelson e Morley representou o primeiro golpe a essa teoria porque esta experiência não demonstrou a existência de uma esperada relação de dependência entre a velocidade da luz segundo seu sentido de propagação e o movimento da Terra através do éter. Estabeleceu-se definitivamente a natureza ondulatória da luz pelas experiências de Fresnel e Young que proporcionaram a última evidência que faltava, a interferência⁴.

➤ **Teoria eletromagnética:**

O físico e matemático Jacob C. Maxwell formulou a teoria de que a luz é um movimento ondulatório eletromagnético.

Apesar da dificuldade que Maxwell encontrou para provar sua teoria, matematicamente seu conceito de que todo campo magnético variável produzia um campo elétrico e vice-versa se impôs quase imediatamente. Sua teoria veio a ser confirmada por E. Hertz demonstrando que todas as ondas eletromagnéticas podiam refletir-se, e difratar-se, uma vez que se propagam com a mesma velocidade da luz⁴.

➤ **Teoria quântica:**

As teorias por mais racionais, freqüentemente requerem hipóteses suplementares para poder explicar certos fenômenos difíceis de se compreender. Um destes fenômenos é o efeito fotoelétrico.

Uma placa de zinco exposta a luz, ou a uma radiação invisível de alta freqüência como a ultravioleta, adquire uma carga positiva. Se um corpo eletricamente neutro (mesmo número de prótons e nêutrons) adquirisse cargas positivas pela ação da luz, significava que perdia partículas com cargas negativas, ou seja perdia elétrons.

Com o efeito fotoelétrico foi demonstrado que quanto maior a intensidade da luz, mais elétrons serão liberados⁴.

❖ **Fótons** \Rightarrow ondas e/ou partículas de luz

Como em quase tudo de importante que ocorreu na Física do Século XX, o personagem principal nesse nosso relato sobre **fótons** foi o Albert Einstein. Foi ele quem sugeriu que um feixe de luz não é apenas uma onda eletromagnética com suas características usuais de frequência, amplitude e fase. Para explicar certos fenômenos que atormentavam os físicos da época – como o Efeito Fotoelétrico, por exemplo – Einstein propôs que a luz é feita de entidades discretas (isto é, separadas e distintas entre si), com uma energia proporcional à frequência da onda luminosa: são os fótons.

Segundo Einstein, um feixe de luz monocromático de frequência f é formado por um enxame de fótons, cada um deles com uma energia $E = hf$, onde h é uma constante – a constante de Planck.

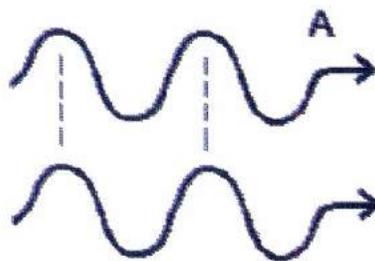
Como sabemos da óptica, a luz é uma onda. E os fótons são como bichinhos ambivalentes. Apresentam características típicas de ondas (frequência, amplitude, fase, polarização) como também de partículas (momento, localização espacial). Os físicos chamam isso de “dualidade onda-partícula” e garantem, baseados na experiência, que essa dupla personalidade faz parte da natureza da luz.

Vamos simbolizar um fóton por uma pequena onda com uma seta indicando sua direção de propagação. Isso só serve, é claro, para ajudar nossa percepção, sem nenhum compromisso sério com a realidade.

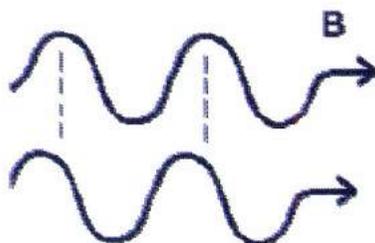


O importante, para nosso intento de descrever o laser, é compreender algumas características ondulatórias dos fótons.

Os dois fótons mostrados em (A), por exemplo, têm a mesma frequência e a mesma fase.



Já os fótons em (B) têm a mesma frequência, mas fases diferentes: a crista de um deles está adiantada em relação à crista do outro.



Em ambos os casos, os fótons têm a mesma polarização, isto é, vibram no mesmo plano.

Dois fótons que têm a mesma frequência, mesma fase e mesma polarização são ditos coerentes. Os fótons representados em (A) são coerentes. Os fótons em (B) não são⁵.

Como veremos mais adiante, a principal característica da luz de um laser é:

Os fótons que constituem o feixe de luz laser são coerentes.

◆ Processo de Absorção e Emissão de Fótons:

Para facilitar a visualização dos fenômenos de absorção e emissão de fótons por um átomo, usaremos uma representação gráfica. Como todo modelo físico, é apenas uma “representação” do evento real.

Vamos, então, representar um átomo por uma bolinha no centro de uma caixa. Esse átomo imaginário pode ter dois estados, um com menor energia, chamado de estado fundamental, e outro, de maior energia, chamado de estado excitado. Um átomo real pode ter muito mais que apenas dois estados de energia mas, nessa simplificação, bastam dois.

O átomo no estado fundamental será representado por uma bolinha azul e, no estado excitado, de cor vermelha. Tudo fictício, é óbvio, pois átomos não tem cores⁶.

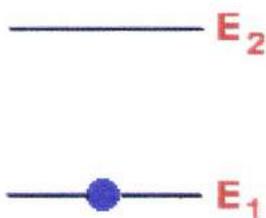


Einstein, na década de 20, identificou três processos através dos quais um átomo pode passar de um estado para o outro. Se o átomo estiver no estado fundamental é necessário fornecer a ele a energia certa para que ele passe ao estado excitado. Essa energia deve ser exatamente a diferença entre as energias dos dois estados.

Uma forma de fornecer essa energia é fazer incidir um feixe de luz sobre o átomo. Se a energia de um fóton constituinte da luz for exatamente igual à diferença de energia entre dois estados do átomo, ele pode absorver esse fóton e passar do estado fundamental para o estado excitado.

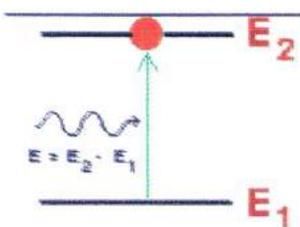
Vamos reformular nossa descrição:

Um fóton de uma certa energia E incide sobre um átomo que está no estado fundamental. Se a energia E do fóton for exatamente igual à diferença entre a energia do estado excitado, E_2 , e a energia do estado fundamental, E_1 , isto é, $E = E_2 - E_1$, o átomo pode absorver o fóton e passar do estado de menor para o estado de maior energia. Se a energia E do fóton for maior ou menor que a diferença $E_2 - E_1$, o fóton não pode ser absorvido e passa batido⁶.

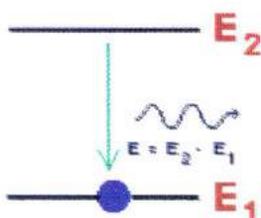


A forma “pictórica” de representar o processo de absorção é a seguinte: os dois estados do átomo são desenhados como tracinhos paralelos. O estado fundamental, de energia mais baixa E_1 , é simbolizado pelo tracinho de baixo. A distância entre os tracinhos simboliza a diferença de energia $E_2 - E_1$. Se o átomo estiver no estado fundamental será simbolizado por uma bolinha no tracinho de baixo.

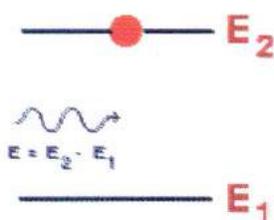
O fóton é simbolizado por um traço ondulado com uma seta na ponta. Veja como é representado o processo de absorção de um fóton de energia $E = E_2 - E_1$ ⁶.



Um átomo excitado, normalmente, não fica muito tempo neste estado. A não ser que algum fator externo o impeça, depois de um tempo muito curto ele volta ao estado fundamental. Alguns estados excitados, porém, podem ter vida mais longa e são chamados de meta-estáveis. Eles são essenciais para o funcionamento do laser⁶.

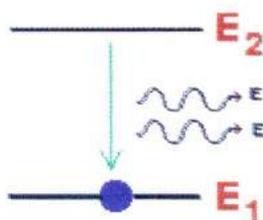


Só existe um processo de absorção de fótons mas existem dois processos de emissão. No processo chamado de emissão espontânea o átomo passa do estado excitado para o estado fundamental sem nenhuma ajuda externa, emitindo um fóton de energia $E = E_2 - E_1$ ⁶.



Mas, existe outro processo de desexcitação, chamado de emissão estimulada, na qual a desexcitação é induzida por um fóton que tem exatamente a energia $E = E_2 - E_1$. O fóton estimulador passa incólume, sem perder nem ganhar nenhuma energia, mas provoca a emissão (estimulada) de outro fóton com a mesma energia.

Os dois fótons, estimulador e estimulado, são coerentes, isto é, tem a mesma frequência, mesma fase e mesma polarização⁶.



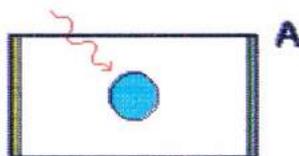
IV.II) A Ação do Laser

A idéia básica do funcionamento do laser é utilizar a emissão estimulada para desencadear uma avalanche de fótons coerentes, isto é, todos com a mesma frequência, fase, polarização e, principalmente, mesma direção de propagação.

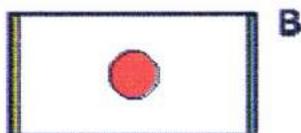
Como conseguir isso?

Vamos descrever um laser hipotético que tem apenas um átomo com dois níveis. É claro que essa é uma bruta simplificação pois um laser real tem 10^{23} átomos ou mais. Mas, para nosso entendimento, basta um só átomo.

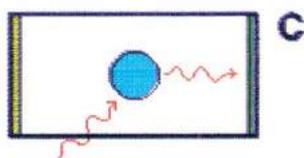
Esse átomo é colocado em um meio transparente entre dois espelhos. O espelho da esquerda reflete toda a luz que recebe e o espelho da direita reflete 99% da luz que incide sobre ele (espelho semi-prateado). Inicialmente, o átomo está em seu estado fundamental, mas um fóton vindo de fora irá excitá-lo (A).



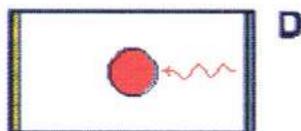
O átomo demora-se nesse estado excitado que é meta-estável (B). Essa característica é essencial para que o laser funcione.



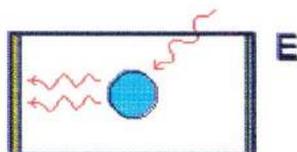
Eventualmente, ele decai emitindo um fóton. Esse fóton, emitido espontaneamente, pode ter qualquer direção e, na maioria das vezes, se perde pelas paredes laterais. Mas, em algum momento, um desses fótons sai na direção de um dos espelhos. Digamos que, enquanto o fóton se reflete no espelho da direita, outro fóton externo excita o átomo (C).



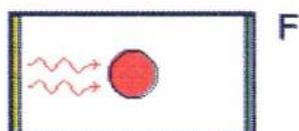
O fóton refletido vai encontrar o átomo no estado excitado e estimula uma nova desexcitação (D).



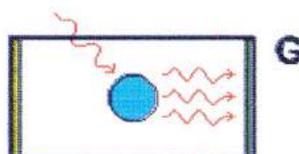
Só que dessa vez a emissão é estimulada e o fóton resultante sai em fase e na mesma direção que o fóton estimulante – isto é, são coerentes. Enquanto isso, outro fóton externo excita novamente o átomo (E).



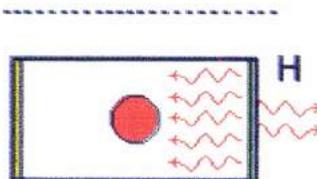
Agora, os dois fótons refletidos pelo espelho da esquerda vão estimular uma nova emissão (F).



Teremos, então, três fótons coerentes dirigindo-se, em fase, para o espelho da direita (G).



Com a repetição continuada desses processos o número de fótons coerentes refletindo-se entre os dois espelhos cresce tanto que uma parte deles escapa pelo espelho semi-prateado (1% deles, mais ou menos). Essa luz que escapa é o feixe de nosso laser de um átomo. A luz desse feixe é coerente, o que faz com que o feixe seja estreito, concentrado, monocromático e bastante intenso.



NOTA: Na verdade, um laser só de dois níveis não funcionaria. Mas, para nossos propósitos puramente ilustrativos, essa simplificação serve⁷.

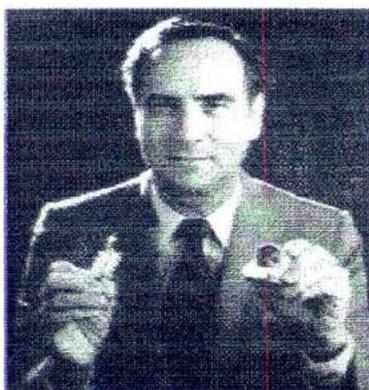
V) UM POUCO DE HISTÓRIA DO LASER

Antes do laser veio o maser. O maser foi inventado por Charles Townes (nascido em 28 de julho de 1915) na década de 50 e construído em 1954 por ele e colegas da Universidade de Colúmbia (EUA).

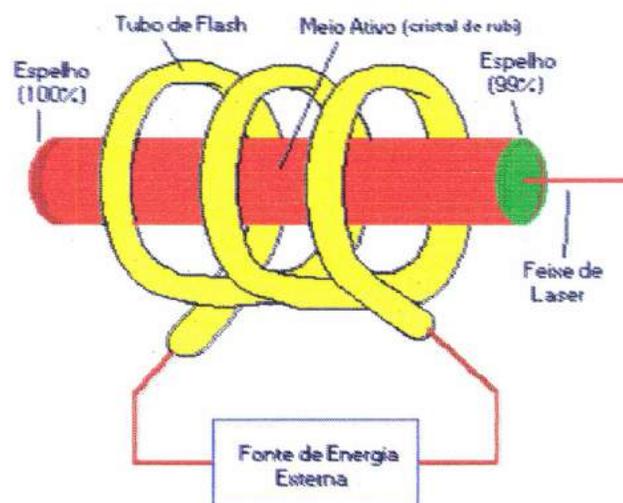
O princípio do funcionamento do maser é semelhante ao descrito na seção anterior, com uma diferença. Em vez de átomos excitados Townes usou moléculas de amônia como meio ativo. Ao ser excitada por um agente externo a molécula de amônia entra em vibração com uma frequência de micro-ondas. Daí, o processo de emissão estimulada gera um feixe coerente de micro-ondas.

Logo que o maser foi demonstrado começou imediatamente a busca por um maser ótico, isto é, um dispositivo que emitisse um feixe coerente com frequência na região da luz visível. Townes e Arthur Schawlow propuseram um arranjo com uma cavidade contendo o meio ativo e dois espelhos, como descrito na seção anterior. Por esse trabalho Townes ganhou o Prêmio Nobel de 1964, juntamente com Aleksandr Prokhorov (também nascido em julho) e N. Basov.

Mas, foi Theodore Maiman (nascido em 11 de julho de 1927) quem construiu o primeiro maser ótico⁸.



Maiman sugeriu o nome “Loser” (“ligh Oscillation by Stimulated Emission of Radiation”) mas “loser” significa “perdedor” e o nome foi trocado por “laser” (“Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”), que pegou e ficou. Em Julho 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 excitado 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 meta-estável, portanto, conveniente para ser usado na ação laser. De resto, o funcionamento é idêntico ao que foi descrito anteriormente⁸.



No laser de rubi de Maiman o feixe de luz sai na forma de pulsos de luz muito rápidos. Pouco tempo depois outros lasers foram construídos, usando outros meios ativos, produzindo um feixe contínuo de luz.

Agora sabemos que alguns lasers têm um cristal interno; outros, um tubo que contém gás ou líquido.

Uma descarga elétrica ou um flash de luz brilhante fornece energia extra aos átomos no material do laser. Os átomos perdem essa energia emitindo luz.

O efeito forma-se da seguinte maneira: alguns átomos perdem energia e emitem ondas de luz. Estas atingem outros átomos, que perdem energia e emitem ondas

luminosas, e assim por diante. As ondas são todas idênticas porque são produzidas da mesma maneira em cada átomo. Dois espelhos, em cada extremidade do laser, refletem a luz de um lado para o outro, e quanto mais átomos são atingidos mais luz é liberada. A luz escapa através de um ou de outro espelho como um raio constante ou como um pulso inesperado, dependendo do tipo de laser. As cores da luz dependem do material do laser. Alguns lasers produzem radiações invisíveis de infravermelho ou ultravioleta.

Hoje, os lasers já são parte da vida cotidiana. Eles estão nos aparelhos de Cd musicais e de computador, nas impressoras, na comunicação por fibra ótica, nos consultórios dos oftalmologistas e até nas mãos dos conferencistas, servindo de apontadores⁸.

VI) APLICAÇÃO DO LASER NO DIA-A-DIA

Até pouco tempo os lasers eram considerados objetos exóticos, usados apenas em laboratório de pesquisa, projetos militares grandes indústrias e filmes tipo Guerra nas Estrelas. Hoje, toda família de classe média tem pelo menos um laser em casa: aquele que está no aparelho de tocar CDs (“compact disk”).

Vamos comentar algumas aplicações dos lasers na nossa vida cotidiana.

❖ Reprodutores de CD:

Os aparelhos de tocar CD e os leitores de CD-ROM usam lasers de diodo semicondutor para ler um sinal digital gravado previamente sobre um disco de metal com plástico. A luz do laser é focalizada sobre uma trilha circular contendo furinhos enfileirados (os “pits”). Quando incide sobre o espaço entre os furinhos, o feixe de luz é refletido pela superfície polida e incide sobre um detetor de fotodiodo. Quando incide sobre um furinho, a luz se espalha e não atinge o detetor. Desse modo, enquanto o disco gira, o detetor capta uma sucessão de sinais (luz e não-luz, ou 1 e 0) que são os “bits” de informação. Esse sinal digital é transformado, no caso do CD de música, em um sinal sonoro (analógico), amplificado e reproduzido nos altos falantes⁹.

O laser usado nesses aparelhos é feito do semicondutor AlGaAs (Arsenieto de Gálio e Alumínio) e gera uma luz na faixa do infravermelho (logo, invisível), com comprimento de onda de 785 milimícrons, isto é, 785 milésimos de micron, ou 785×10^{-9} do metro. Com esse tipo de luz a distância entre os “pits” pode ser da ordem de 1

mícron. Isso possibilita armazenar cerca de 75 minutos de música em um CD, ou 640 megabytes de dados em um CDROM.

O preço médio de um laser de diodo semiconductor está em torno de 30 reais e seu tamanho é de uns 5 milímetros.



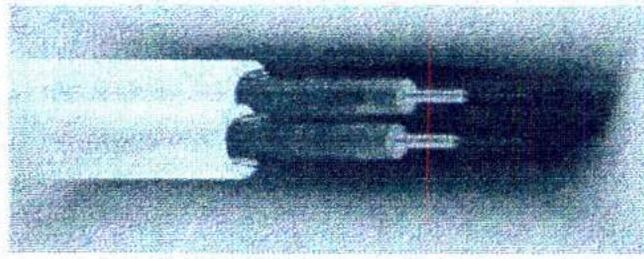
Para aumentar a capacidade dos CDs a indústria desenvolveu novos lasers de diodo que emitem luz na faixa do vermelho (visível) com comprimento de onda de 650 milimícrons. Usando esses lasers e inovações da microeletrônica, surgiram os DVDs (“digital versatile disk”). Com a luz de menor comprimento de onda as trilhas de “pits” podem ser mais densas e os DVDs podem conter muito mais dados que um CD. Um DVD pode conter 8 horas de música ou 5 gigabytes de dados.

Mas, a turma ainda acha pouco. Começam a surgir dos laboratórios de pesquisa das indústrias os primeiros lasers de diodo semiconductor que emitem luz azul, com comprimento de onda de 450 milimícrons. Com um laser desses o DVD poderá conter da ordem de 100 horas de música, ou 60 gigabytes de dados⁹.

❖ **Comunicação:**

O transporte de dados por fibra ótica está cada dia mais disseminado. Nessa aplicação, os sinais são produzidos por lasers de diodo com modulação de alta velocidade e transmitidos através de fibras óticas feitas de quartzo altamente puro, com espessura de um fio de cabelo. Por uma feliz coincidência, o quartzo leitoso usado nas fibras é extremamente transparente na faixa do infravermelho correspondente à luz dos lasers de diodo⁹.

Em telecomunicações tira-se proveito da facilidade com que se pode dirigir um raio laser em linha reta – ele garante que se alcance com grande precisão o destino desejado. Nos sistemas de telefonia a cabo, nossa voz é convertida em sinais de laser que viajam por cabos de fibra ótica¹⁰.



Enquanto os fios de cobre transportam elétrons, os cabos de fibra ótica transportam luz. Dentre as vantagens dos cabos de fibra ótica estão a imunidade total contra a diafonia e contra interferência (independência dos raios luminosos) eletromagnéticas e de radiofrequência. A falta de ruídos internos e externos significa que os sinais tem um alcance maior e se movem mais rápido, o que proporciona uma velocidade e uma distância maiores do que as obtidas com os cabos de cobre. Como não transporta eletricidade, a fibra é o meio mais adequado para conectar prédios com diferentes aterramentos elétricos. Além disso, os cabos de fibra não atraem raios como os cabos de cobre.

A comunicação com fibra ótica tem suas raízes nas invenções do século XIX. Um dispositivo denominado fotofen convertia sinais de voz em sinais óticos utilizando a luz do sol e lentes montadas em um transdutor que vibrava ao entrar em contato com o som. A fibra ótica se tornou mais prática durante os anos 60 com o surgimento das fontes de luz de estado sólido (raio laser) e das fibras de vidro de alta qualidade livre de impurezas. As companhias telefônicas foram as primeiras a se beneficiar do uso de técnicas de fibra ótica em conexões de longa distância¹⁰.

❖ **Medicina:**

A eliminação de células cancerosas por meio da quimioterapia ou da radioterapia também afeta as células normais, provocando efeitos colaterais prejudiciais ao paciente. O laser por sua vez, pode ser direcionado com maior precisão para as células malignas e tem sido empregado para extrair tumores cancerígenos. Também é usado na solução de problemas dermatológicos, desde a eliminação de tatuagens e manchas, até o tratamento de câncer de pele. A microcirurgia, por sua vez, utiliza-se do laser para realizar delicadas operações na retina do olho ou para corrigir defeitos de visão, como a miopia e o astigmatismo¹¹.

❖ Hologramas:

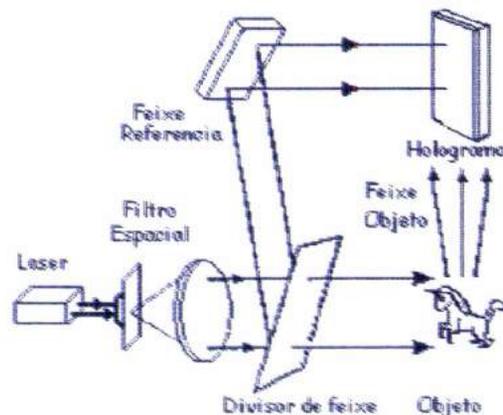
Quando você faz uma foto de um objeto, você obtém uma imagem plana; mas, se fizer um holograma do mesmo objeto, você vai obter uma imagem 3D, isto é, em três dimensões. Isso significa que a imagem gravada no holograma tem profundidade e você pode ver também os lados do objeto como se fosse o próprio sólido.

Os hologramas podem ser usados para fazer tanto bonitas imagens quanto testes em fábricas. Eles podem evidenciar pequenas diferenças em coisas que deveriam ser exatamente iguais. Alguns hologramas funcionam com luz refletida, como os usados nos cartões de crédito. Eles fornecem uma imagem 3D que pode ser vista facilmente segurando-se o cartão sob uma lâmpada. Os hologramas são colocados nos cartões de crédito para evitar falsificação

O físico húngaro Dennis Gabor descobriu a técnica de holografia em 1948. Mas a holografia só começou a ser feita em 1960, quando o laser foi descoberto. O laser produziu o tipo certo de luz para fazer bons hologramas³.

A holografia consiste em um processo de gravação e projeção de imagens, permitindo a reconstrução de uma cena em três dimensões. Esta cena, ao ser elaborada sob diferentes ângulos de visão, proporciona uma visão espacial da mesma, como se estivéssemos vendo na realidade. Podemos fazer uma analogia trivial dizendo que a pintura está para a fotografia, assim como a escultura está para a holografia⁴.

Simplificando, o processo holográfico pode ser descrito da seguinte forma:



a) A gravação da imagem do objeto em um holograma, que nada mais é do que um filme de alta resolução capaz de registrar um padrão de interferência de ondas. São

necessários dois feixes de luz laser, ou seja, dois raios de luz coerentes e monocromáticos, provenientes da mesma fonte.

b) No estágio de gravação, uma parte da luz é utilizada para iluminar o objeto, enquanto outra parte é utilizada como feixe de referência.

c) O raio de referência e a luz refletida pelo objeto se interferem, e o resultado deste padrão de interferência é gravado no filme holográfico, formando o holograma.

d) No estágio de reconstrução, isto é, durante a visualização posterior, o holograma é iluminado apenas pelo raio de referência, produzindo réplicas das frentes de onda refletidas pelo objeto original. São precisamente estas frentes de ondas reconstruídas que podem ser observadas visualmente e que transmitem a imagem do objeto⁴.

❖ **Aplicações Tecnológicas:**

Dentro das aplicações tecnológicas temos os satélites artificiais que dispõem de sistemas de telemetria em laser permitindo a medição de objetos muito distantes, os lasers militares que guiam mísseis para os alvos, e as indústrias que com laser cortam metais, vidros e tecidos¹¹.

VI) EXPERIÊNCIAS SUGERIDAS

VI.1) Reflexão:

- **Objetivo:**

Mostrar a reflexão e que o ângulo de incidência (i) é igual ao ângulo de reflexão (r).

- **Descrição:**

Coloque uma folha de papel ofício sobre a mesa, trace uma linha, e em seguida um espelho plano perpendicular ao plano da folha sobre esta linha. Incida o feixe de laser, proveniente de um apontador, tangenciando a folha e ao atingir o espelho, forme

um ângulo de incidência (i) com a normal. Usando um lápis, marque cuidadosamente, na folha de papel, as direções dos raios incidente e refletido.

Desfazendo a montagem, tome a folha de papel e trace a normal à linha marcada inicialmente no ponto de incidência do raio luminoso. Usando um transferidor meça, com cuidado, o ângulo de incidência (i) e o ângulo de reflexão (r).

- Análise:

Repita a experiência usando outros valores para o ângulo de incidência (i). Os resultados que você obteve confirmam, com razoável aproximação, que $i = r$.

- Material:

{ Espelho plano;
Apontador laser;
Folha de papel;
Lápis;
Transferidor.

VI.II) Fibra Óptica (reflexão total)¹²:

- Objetivo:

Simular os efeitos de uma fibra ótica.

- Descrição:

Use uma garrafa plástica transparente de refrigerante de dois litros (vazia é claro) aberta no topo. Faça um pequeno furo a uns 8 cm do fundo. Encha a garrafa com água e um pouco de detergente misturado, tampando o furo com o dedo. Retire o dedo do furo de modo a permitir a queda da água. Coloque um aparo (panela, lata, copo, etc) para a queda da água. Incida o feixe de laser (apontador) pelo lado oposto de forma que o mesmo atinja o furo. Em um ambiente escurecido você verá o feixe de água como um condutor de luz, ou seja, o filete de água que jorra da garrafa guiar a luz até o fundo do aparo utilizado.

Esse fenômeno que é utilizado hoje em dia nas fibras óticas foi primeiro demonstrado por John Tyndall em 1854. A luz fica praticamente presa no feixe de água por causa da reflexão total.

- Material:

- Apontador de laser;
- Garrafa plástica transparente de refrigerante de dois litros;
- Água;
- Detergente.

VI.III) Refração:

- Objetivo:

Mostrar que a luz sofre uma mudança na direção de propagação ao mudar de meio de propagação.

- Descrição:

Encha uma garrafa de plástico transparente com água misturada com um pouco de detergente e incida o feixe de laser proveniente de um apontador.

- Análise:

Observe a direção do feixe antes e depois de penetrar na água. Faça variar o ângulo de incidência e verifique que quando o feixe luminoso incide perpendicularmente à superfície da água, ele não muda de direção e que, quanto maior for o ângulo de incidência, mais acentuada será a refração.

- Material:

- Apontador de laser;
- Garrafa de plástico transparente;
- Detergente.

VLIV) Difração:

- Objetivo:

Mostrar que a difração é a propriedade que uma onda possui de contornar um obstáculo ao ser parcialmente interrompida por ele.

- Descrição:

Coloque duas giletes presas a um imã deixando entre elas, uma pequena fenda. Em seguida, incida sobre a fenda um feixe de laser e com uma tela por trás poderemos obter a projeção dos máximos sobre ela.

Obs.: pode-se acentuar a difração diminuindo a distância entre as giletes.

ANÁLISE:

A luz é um movimento ondulatório cujo o comprimento de onda é muito pequeno.

- Material:

- Apontador de laser;
- 02 giletes;
- Um pedaço de imã;
- Tela.

VII) REFERÊNCIAS

- 1- Moreira, E. J., e Guedes, I. (1999) *lasers*, <http://www.fisica.ufc.br/laser.html>.
- 2- SEMTEC/MEC (1998) “Proposta Preliminar para a Área das Ciências da Natureza, da Matemática e suas Tecnologias no Ensino Médio”.
- 3- Cruz, D.(1999) *Física, Ciências e Educação Ambiental: Raios lasers e Hologramas*. SP, Ed. Ática, 26ª Edição (1999).
- 4- Coşta, A.C. (1998) *Holografia: Expansão e colimação de laser* <http://ifi.unicamp.br/acosta/holografia.html>.
- 5- Moreira, E. J., e Guedes, I. (1999) *Fótons: Ondas e/ou Partículas de Luz*, <http://www.fisica.ufc.br/laser.html>.

- 6- Moreira, E. J., e Guedes, I. (1999) *Fótons: Processo de absorção e Emissão de Fótons*, <http://www.fisica.ufc.br/laser.html>.
- 7- Moreira, E. J., e Guedes, I. (1999) *A Ação Laser*, <http://www.fisica.ufc.br/laser.html>.
- 8- Moreira, E. J., e Guedes, I. (1999) *Um pouco da história do laser* <http://www.fisica.ufc.br/laser.html>
- 9- Moreira, E. J., e Guedes, I. (1999) *Aplicações do laser no dia-a-dia* <http://www.fisica.ufc.br/laser.html>
- 10- Lisboa, P. S. Cabos de Fibra Óptica <http://www.geocities.com/timessquare/portal/6897/optica1.html>.
- 11- Requesens A. M. (1995) *Tecnologia: Laser (Help Ciência e tecnologia)* SP, Editora Globo, (1996).
- 12- Guimarães, L. A. E Fonte Boa, M. (1997) *Física para o 2º Grau (Termologia e Óptica)* RJ, Ed. Harbra, (1998).