لیزر Laser

نوشتهٔ

دکتر مهندس محمدقلی محمدی

دانشیار دانشکده فنی

دربهار سال ۱۳٤٥ دوتن از استادان دانشگاه فنی آخن ازجانب دولت آلمان بمنظور مشاوره درمورد تجهیز انستیتوالکتروتکنیک دانشکده فنی درامیر آباد به‌ایران آمدند. موقعیتی برای تبادل نظر در مسائل نظری وفنی مورد علاقه طرفین پیش آمد. پروفسور Herbrt Doering استاد و رئیس انستیتوی برق آن دانشکده به کارهای تحقیقی بر روی لیزر درآزمایشگاه خود اشاره کرد چون موضوع برای اینجانب از زمان اشتغال بکار در آزمایشگاههای زیمنس آلمان وتحقیق بر روی مسائل مربوط به تخلیه الکتریکی درگازهاجالب ومورد علاقه بود ، درتابستان همان سال درسفری که به‌اروپا کردم از فرصت استفاده کرده وازآزمایشگاههای لیزر دانشگاه فنی آخن دیدن کردم. این مقاله باتکیه برمشاهدات ویادداشتها واستفاده از منابع نامبرده شده درانتهای این نوشته بویژه کنفرانسهای پروفسور مزبور تهیه وتقدیم علاقمندان میگردد.

۱ ـ مقدمه :

اختراع وتکامل لیزر را در حوزه فنون الکتروتکنیک و الکترونیک بجرأت میتوان با اختراع لامپ تخلیه شده دوقطبی (دیود) مقایسه کرد که در سال ۱۹۰۵ بوسیله فلمینگ[۱] انجام گردید و اجازه داد که درسالهای بعد فن ارتباطهاو تلگراف بی‌سیم چنین گسترش و پیشرفتهای اعجاب آمیز پیدا کند.

اصول نظری وعلمی لیزر درسال ۱۹۵۸ بوسیله Townes و Schawlow دوفیزیکدان آمریکائی بیان و پیشنهاد گردید و درسال ۱۹٦۰ بوسیله Maiman درآزمایشگاه موسسه Hughes Aircraft ساخته شد و نام لیزر گرفت. کمتر پدیده شناخته شده درفیزیک چنین باشوق و رغبت در یکزمان درآزمایشگاههای مختلف مورد تحقیق و تکامل قرار گرفته است ، تنها درآمریکا بیش از دویست آزمایشگاه مشغول تحقیق

۱- Fleming

و تکامل برروی لیزر میباشند ، روشن است که چنین استقبال شدیدی زائیده موارد استعمال بسیاری است که لیزر در زمینه های مختلف علمی یافته است. امروزه هنوز درآستانه استفاده از لیزر هستیم ، معذالک شاهد موارد استعمال متعدد لیزر درصنایع ، طب ، بیولژی وسایر قسمتها میباشیم. براین موارد امکان استفادهازفن لیزر در شناسائی ساختمان ماده راکه هنوز در مراحل تحقیق و تتبع است ، میتوان اضافه کرد.

بدیهی است جلب توجه و ایجاد علاقمندیای که این فن درمحافل مختلف علمی بوجود آورد بدون مقدمه نبود ودلیل آن را درشناسائی «اصول مایزر» که ۸ سال قبل از آن انجام گرفته بود بایددانست.

در واژه Maser ، حرف اول آن از واژه Microwave گرفته شدهاست و حرف اولLaser مربوطبه واژه Light میباشد هردو دستگاههای تقویت کنندهرا بنام تقویت کننده مولکولی ویاتقویت کنندهالکترونیکی کوانت نیز نامیدهاند. درپارهای از نوشته های اروپائیلیزر را بنام مایزر اپتیکی نیز نام گذاری کردهاند.

امروزه دانشگاهها و آزمایشگاههای موسسات بزرگ صنعتیاروپا با کوششی بس عظیم که درخور توجه و شایان تحسین است درراه تحقیق و تکامل لیزر قدم برمیدارندو این فعالیت آنقدر متمرکز و باجدیت انجام میگیرد که امید میرود عقب ماندگی اروپا از آمریکا را در زمینه این فندرچند سال آینده جبران کند.

۲ ـ شناسائی اصولساختمان لیزر :

واژه لیزر ازترکیب حروف اول جمله

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

بمفهوم کلی : «تقویت نور بوسیله امیسیون تحریک شدهاشعه» میباشد .

بدیهیاست باید بهاین تقویت کننده ویا بعبارتی دیگر اسسیلاتور نیروئی داد یعنی نیروی مصرفی آن را تأمین کرد. این نیروی مصرفی جزء کوچکی از نیروی بدست آمده از لیزر خواهد بود . همانطورکه در تقویت کنندههای معمولی رادیو نیروی مصرف شده بریان دائم است در لیزر این نیروی مصرفی نیروی الکتریکی ویژهای با فرکانس بالاست.

باتوجه بهترکیب نام لیزر و منشاء این واژه آگاهی اولیهای نسبت به خصوصیات اصلی آن بشرح زیر میبابیم :

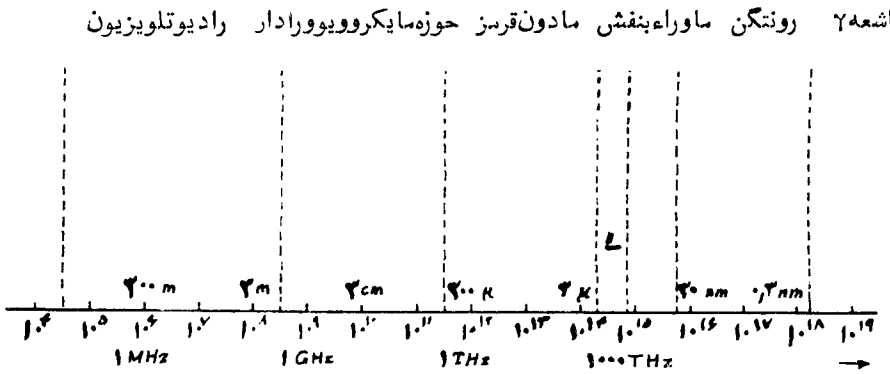
۱ر۲ ـ امواج نوری ایجاد شده و تقویت گردیده درلیزر برخلاف نور روز امواج الکترومغناطیسییک رنگ و متراکمی (بهم تابیده شده) میباشند.

۲ر۲ ـ تغییرات و تحولاتی که در ساختمان و پیوند اتمی ماده میتواند بوقوع پیوندد علت بوجود آورنده اینانوار میباشد .

بنابراین میتوان لیزر را ژنراتور فرکانس بالائی دانست که طول امواج آن برخلاف امواج رادیو و تلویزیون که در حدود مترو دسیمتر قرارگرفتهاند ، درحوزه میکرومتر واقع شده است که معادلفرکانسیدر حدود ۱۰۰THz میگردند :

$$1\,THz = 10^{12}\,Hz$$

شکل یک نمایش دهنده پهنه امواج الکترومغناطیسی است و نمودار محل امواج لیزر دراین پهنه میباشد .



(شکل ۱)

چنانکه از شکل پیداست‌نور قابل رویت بوسیله‌چشم انسانی در پهنه‌ای بین ۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر که برابر فرکانسی‌بین ۳۷۵ تا ۷۵۰ «THz» میباشد ، واقع شده است . لذا لیزر را میتوان مولد فرکانس بالائی با کوتاهترین طول موج دانست، حتی زمانی که لیزر در حوزه قابل رؤیت کار میکند آسانتر میتوان‌آنرا با ژنراتور فرکانس تشبیه کرد تابه‌یک مولد نور زیرا که مولدآخری‌انواری پراکنده و رنگارنگ(چندرنگی) ایجاد میکند . تهیه امواجی با چنین فرکانسهای بالا بوسیله لامپهای جریان ضعیف حتی از طریق کوچک کردن عناصر ساختمانی لامپها و کوتاه نمودن فواصل الکترودها میسر نیست وبنابراین برای ایجاد نور یک رنگ مثلاً درحوزه مادون قرمز باید راهی نو پیموده میشد. نحوه ساختمان اتمی ماده و خصوصیات آن‌این‌راه را بااستفاده از بوجود آوردن نوسان در مولکولها واتمهای ماده نشان میدهد. چنانکه از اسپکتروسکپی امواج بینهایت کوتاه(مایکروویو)میدانیم ماده میتواند درحال تحریک اتمها انواری دریک پهنه وسیعی ازفرکانس ، از حوزه امواج بی‌نهایت کوتاه تا امواج ماوراء بنفش، آزاد کند. دراین‌مورد مسئله مشکل تنها دراین‌است که این نوسان سازهای بی‌نهایت کوچک را فرمان‌دادتاهمزان باهم درحال تشدید بروند تا بدینوسیله‌نه‌تنها امواجی با یک‌فرکانس بدست آید بلکه اشعه‌های بهم فشرده شده بدست آوریم . قبل‌از آنکه بشرح اصول ساختمان و طرزکار لیزر بپردازیم لازم است که چند تعریف مختلف در مورد امواج الکترومغناطیسی را بخاطر خوانندگان‌عزیز بازگردانیم : انواری‌صاحب یکرنگ هستند که همگی دارای طول موج مساوی و صاحب یک فرکانس معین باشند. حاصلضرب طول موج درفرکانس سرعت انتشار وگسترش موج را تعیین میکند . این سرعت چنانکه میدانیم درمورد انتشار امواج الکترومغناطیسی درفضا با سرعت نور برابر میگردد.

اکنون چنانچه در تمامی‌نقاطیک صفحه قائم به‌جهت‌انتشار وگسترش موج وضعی شبیه بهم‌موجود باشد از موجی سطحی سخن میگوئیم وبنابراین جهت بردار الکتریکی حوزه جهت پولاریزاسیون خواهد بود . بعلاوه امواج سطحی دارای تغییراتی زمانی و فضائی همزمان هستند بنابراین متراکم وباصطلاح بهم تابیده باقی‌میمانند.

این خصوصیات درست عکس خصوصیات انوار ساطع شده از یک مولد حرارتی است (مثلاً خورشید ویا یک لامپ رشته‌دار) که انواری با رنگهای مختلف وبافرکانسهای متفاوت ازهم درفضا انتشار میدهند. بعلاوه انوار اخیر با توجه بترکیب آن‌ها که مجموعه‌ای از اشعه‌ها بافازهای مختلف است، نمیتوانند بهم فشرده باشند و بنابراین مقادیر لحظه‌ای نور دریک نقطه فضائی مختلف بوده وبایکدیگر در ارتباط نیستند.

براین تعاریف باید مفهوم قانون پلانک در مورد تاثیر متقابل بین نور و ماده را افزود که میگوید: اشعه‌های نور مجموعه‌ای از فوتون‌ها هستند که دارای انرژی معینی میباشند ویا بعبارتی دیگر نور **عبارت از موج الکترومغناطیسی‌ای بافوکانس معینی است** که حاوی انرژی الکتریکی معینی میباشد. برای بیان این مطلب: در مدل اتمی قبول میکنیم که هرچه الکترونها برروی مدارهائی با فاصله دورتر حول هسته با بارمثبت (پروتون) درگردش باشند اتم دارای انرژی بیشتری است. این مدارها چنانکه میدانیم دارای شعاعهای معینی میباشند. حالتی را که الکترونها برروی نزدیکترین مدارها نسبت به هسته درگردش باشند موقعیت اصلی اتم میشناسیم و دراین حالت اتم دارای کمترین مقدار انرژی خود میباشد. تغییر محل دوران یک الکترون ازیک مدار کوچک به یک مدار بزرگتر همسایه بالا بردن انرژی اتم را بهمراه دارد این تغییرمکان بوسیله دادن انرژی از خارج به اتم امکان میابد. دراین حالت گوئیم اتم **درحال تحریک** واقع میگردد. لیکن تغییر مکان یک الکترون از یک مدار دورتر واقع شده نسبت به هسته بیک مدار نزدیکتر به هسته در جهت خلاف تحریک اتم انجام میگیرد و بنابراین انرژی معینی بااین تغییر مکان آخری آزاد میگردد که مقدار آن برابر با تفاوت انرژی اتم در دوحالت مختلف میباشد. آزاد شدن این انرژی بشکل نور بافرکانس معینی انجام میگیرد و بوسیله رابطه زیر نمایش داده میشود که بیان کننده قانون پلانک میباشد:

$$E_1 - E_2 = h \cdot \nu \qquad (1)$$

$$h = ۶٫۶ \times ۱۰^{-۲۷} \text{erg.s}$$

که درآن:

h عدد پلانک

و ν فرکانس موج میباشد

E_1 و E_2 انرژی اتم دردوحالت مختلف راکه درهرکدام الکترون در فاصله متفاوتی بنسبت به هسته واقع میگردد، بیان میکنند.

با آنچه که گفته‌شد روشن میگردد که حرکت الکترونها از مداری به مدار دیگر باجذب ویا آزادشدن انرژی معینی بشکل نور که آن را **فوتون** مینامیم همراه خواهد بود. در مجموعه‌ای شامل اتمهای همجنس که درتعادل حرارتی واقع شده‌اند اتمهای واقع شده درکلیه حالات بحث شده دربالا، موجوداند. منحنی تقسیم اتمها دراین حالات بادرنظرگرفتن شرایط جنبی بوسیله منحنی تقسیم بلسمان انجام میگیرد. درمنحنی تقسیم بلسمان تعداد اتمها وایونهای صاحب انرژی بیشتر کمتر از تعداد اتمهائی است که انرژی کمتری راصاحب بوده ویا

حتی در موقعیت اصلی قرارگرفته‌اند. چنانچه براین مجموعه اتمی فوتون‌ها یا بعبارتی دیگر امواجی الکترو مغناطیسی باطول موج معینی را وارد کنیم حالات زیر پیش میآید :

الف ـ چنانکه فوتونی‌بافرکانس مثلاً $\nu_{1,3}$ برجسمی (مجموعه‌اتمی) وارد آید ایون‌ها ویااتم‌های واقع شده درموقعیت ۱ باجذب انرژی‌ای برابر $h\,.\,\nu_{1,3}$ به‌طراز دیگری باانرژی بیشتر مثلاً موقعیت ۳ ارتقاء خواهند یافت و درنتیجه انرژی جسم نیز بزرگتر خواهد شد. منحنی اولیه تقسیم اتمها و ایونها تغییر شکل داده واتمها و ایونهای جسم درحالت تحریک خواهند رفت. بدیهی است که حالت تحریک فقط برای زمان محدودی پایدار خواهد ماند (درحدود 10^{-8} تا 10^{-7} ثانیه) وپس از گذشت این زمان الکترون‌ها به‌موقعیت قبلی خود باز خواهند گشت و سطح انرژی اتم وبالطبع جسم تنزل‌خواهد کرد و منطقاً انرژی گرفته شده‌بطور ناگهانی آزاد خواهد گشت.

ب ـ درحالتی که اتمها ویا ایونها درحال تحریک هستند ، ممکن است فوتونی از خارج برآن بتابد اگر این فوتون‌درست صاحب‌همان انرژی‌ای‌باشد که اتم تحریک‌شده احتمالاً بصورت فوتون‌آزاد میساخت. آنوقت ممکن است اتم درلحظه برخورد با فوتون یک فوتون جدید آزاد سازد. براثر آزاد شدن این فوتون ، موج الکترومغناطیسی یافوتون وارد شده که براثر برخورد آن بااتم فوتون جدیدی آزاد شد ، تقویت‌میگردد. این دو فوتون هردو باهم کاملاً درفاز میباشند . این آزاد کردن اجباری فوتون ویا تقویت کردن انرژی درحقیقت اصل شناسائی‌مکانیزم لیزراست.

بدیهی‌است احتمال بوقوع پیوستن جذب ویا آزاد شدن انرژی دریک جسم مساوی است و اینکه آیا جسمی معین و مشخص انرژی جذب ویا آزاد میکند تنها تابعی از تعداد اتمهای تحریک شده ویااتمهای واقع شده درموقعیت اصلی است.

مهمترین قسمت دراختراع و تکامل لیزر بوجود آوردن و آماده نمودن همین جسم فعال است که بعداً بتوان آن‌را دریک حالت تحریک برد تابمجرد برخورد فوتون امیسیونی بهمن‌وار از فوتونها بوجودآید . برای آنکه جسم فعال بوجود آوریم وبرای آنکه آن‌را درحالت تحریک ببریم احتیاج‌به‌انرژی داریم . انرژی داده شده باید دارای فرکانس مطلوب و مورد نظری باشد که قادر به‌ایجاد نوسان دراتمهای جسم گردد . انرژی معینی که برای انجام اعمال فوق مصرف میکنیم درحقیقت همان انرژی‌ایست که دریک تقویت کننده از باطری میگیریم .

درشکل ۲ سه‌حالت مختلف تبادل انرژی را دریک «لیزر جسم جامد» که دارای سه طراز انرژی است نشان میدهیم تا مطالب بهتر ملکه گردند .

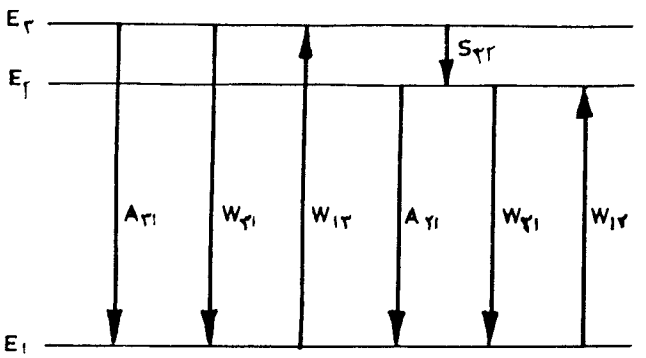
$A_{2,1}$ و $A_{3,1}$ نشان‌دهنده آزادشدن انرژی و بازگشت الکترون ازیک‌طراز انرژی بالا به‌طراز انرژی پائینتر است که باپس‌دادن انرژی به‌شکل نور پراکنده انجام میگیرد .

$W_{1,2}$ و $W_{1,3}$ نشان دهنده انرژی جذب شده و بالنتیجه بردن اتم درحال تحریک است .

$W_{2,1}$ و $W_{3,1}$ نشان دهنده امیسیون تحریک شده است که دراینجا مورد بحث ما است .

$S_{3,2}$ انرژی پس‌داده‌شده‌ای است که‌الکترون در بازگشت‌خوداز طراز ۳ به ۲ به‌پیوند کریستالی‌جسم پس میدهد .

همانطور که گفتیم شناسائی اصل استفاده از تاثیر متقابل بین موج وماده برای تقویت امواج‌الکترو مغناطیسی‌درسال ۱۹۵۰ بوسیله Townes بیان‌شد. درسال ۱۹۵۵ با تکیه براین اصل اولین‌مایزرآمونیاکی ساخته‌شد که‌در حوزه امواج بسیار کوتاه کار میکرد، درسال ۱۹۵۶ Blombergen و جدا ازوی Prokhorov اصول لیزر باسه‌طراز انرژی را بیان داشتند . این‌اصول‌در زیر مختصراً شرح‌داده میشود : از آنجا که‌انرژی‌اتم



شکل ۲ - حالات تبادل‌انرژی دریک لیزرباسه‌طراز انرژی

تحریک شده تابعی از تعداد الکترون‌هائی است که پس ازتحریک برروی هرمدار قرار میگیرند باید بمنظور ایجاد امیسیونی تحریک شده از فوتون‌ها درجهت خلاف قرارگرفتن طبیعی الکترون‌ها برروی مدارهای اصلی خود عمل کرد و درحقیقت نظم طبیعی الکترون‌های اتم را برهم زد . جسمی مثلاً یاقوت احمر را انتخاب میکنیم که درآن ایونهای کرم را (Chromionen) وارد کرده‌ایم که درحقیقت عامل‌آکتیو اصلی میباشند . اکنون میگذاریم که موجی الکترومغناطیسی‌باشدت زیاد و فرکانسی برابر $\nu_{1,3}$ برروی جسم تاثیر کند بنحوی که اجباراً مواضع اشغال شده درطراز انرژی سه و یک مساوی گردند . دراین لحظه مواضع اشغال شده در طراز ۲ بدون تغییر مانده است . امابعلت انتقال بدون‌تشعشع انرژی از طرازی به‌طراز دیگر مواضع اشغال‌شده اضافی در طراز سه فوراً برروی طراز ۲ نیز تقسیم میشود و بالنتیجه انرژی طراز ۲ بیشتر از انرژی طراز ۱ میگردد . این طرز تقسیم انرژی را برروی سه طراز مختلف شکل ۳ نشان میدهد . اکنون موجی دیگر با فرکانس $\nu_{1,2}$ برجسم وارد میکنیم . براثر آن مقداری‌انرژی درطراز ۲ بطرز یک انتقال میپذیرد . این انرژی موج وارد شده الکترومغناطیسی را تقویت مینماید . حالا درنظر گیریم که موجی بافرکانس $\nu_{1,2}$ برجسم وارد نمیشد دراین‌حالت‌انرژی طراز ۲ بطور ناگهانی‌به‌طراز ۱ منتقل میگردید که امیسیون تحریک شده‌ای‌رابوجود میاورد . انرژی ناشی از این امیسیون میتواند بطور بهمنی افزایش یابد . برای بهتر فهمیدن تزاید بهمنی این انرژی قطعه‌ای استوانه شکل از یاقوت‌را درنظر میگیریم که دوسر آن صیقلی شده وبا ماده‌ای منعکس کننده پوشانده شده است (شکل ٤) .

درشکل ٤ : a ـ ابتدا کلیه اتمهای کریستال در موقعیت اصلی خود واقع شده‌اند.

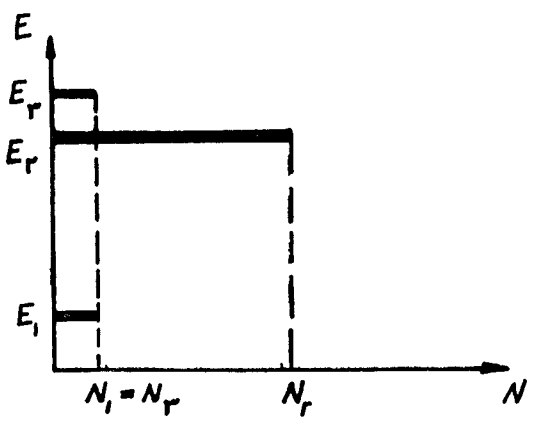
b ـ اکثراتمهای کریستال بوسیله تاثیر فوتون از خارج درحال تحریک برده میشوند.

c ـ آزاد شدن ناگهانی یک فوتون از یک اتم در حال تحریک اتم‌های دیگر را درحالت خاصی مجبور به‌آزاد ساختن‌فوتون مینماید. تنها فوتون‌هائی که درجهت محور موردنظر (دراینجا مثلاً محور افقی) حرکت میکنند درایجاد نور متراکم موثرند. فوتون‌های متحرك درجهات دیگر بشکل نورپراکنده از بلور خارج میشوند و انوار متراکم درسمت راست به‌صفحه صیقلی شده برمیخورند.

d ـ این اشعه‌هادرسمت راست پس از برخورد باصفحه صیقلی شده(آینه)منعکس‌میگردند ودرمیدان بین راه‌با برخورد به‌ذرات دیگر باعث‌تقویت اشعه میگردند.

e ـ درسمت چپ میله یاقوت مجدداً منعکس میگردند و بهمین قسم تقویت میشوند.

f ـ صفحه سمت راست کریستال کمتر از صفحه سمت‌چپ منعکس کننده است ودرحدود معینی‌اجازه عبور نور میدهد. بنابراین اشعه‌های تقویت شده ازاین صفحه عبور کرده و درفضا یک‌موج سطحی درست



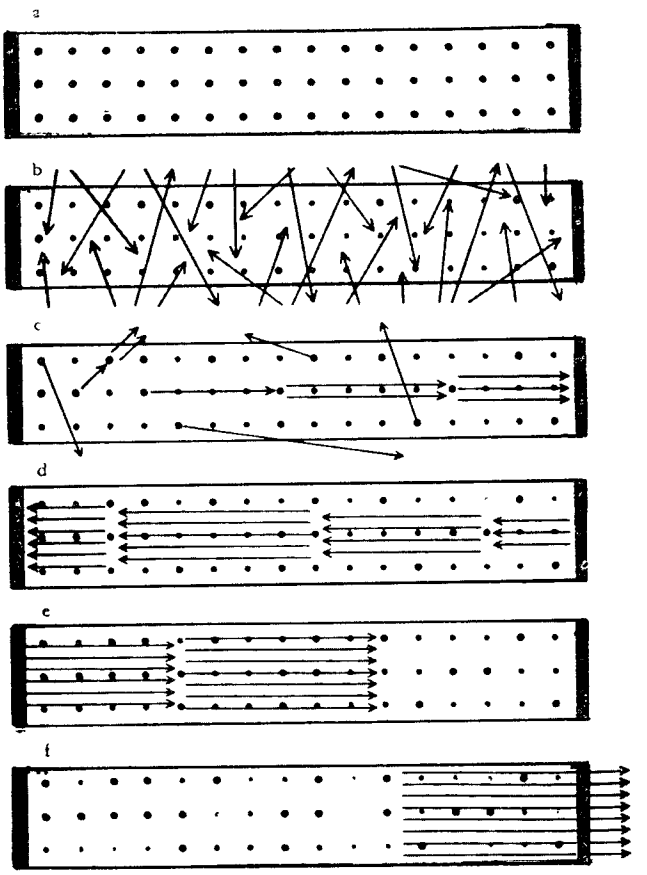
شکل ۳ ـ طرزتقسیم‌انرژی برروی طراز ۲

میکنند. ابعاد صفحه که نور از آن‌خارج‌میشودبسیار بزرگتر است ازطول موج نور. بدین نحو انواری‌متراکم و متمرکز بدست میآوریم.

اولین نمونه عملی لیزر ساخته شده بوسیله Maiman را شکل شماره ٥ نشان میدهد درشکل‌فوق میله‌ای استوانه شکل ازیاقوت مشاهده میشود که درسمت چپ درمحفظه‌ای محکم شده است. دوسمت این استوانه را صیقلی وآینه کرده‌اند.

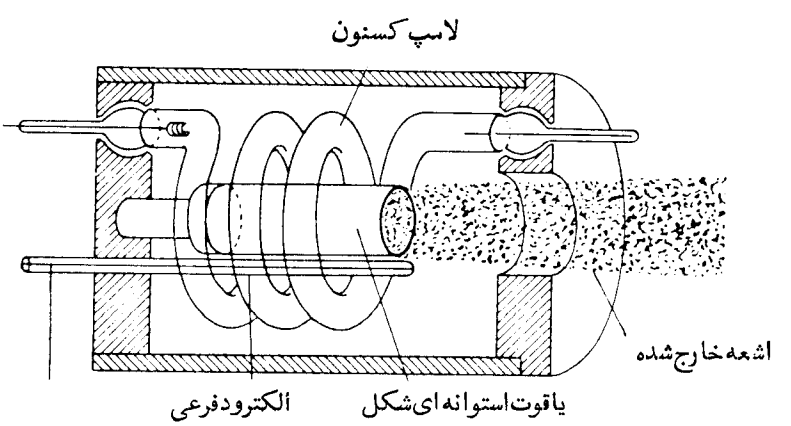
درحول این استوانه‌لامپ تخلیه گاز اکسنون بشکل مارپیچ قرارگرفته است اگرکلیداین لامپ را بزنیم تابقول معروف مانند لامپ عکاسی برق بزند این نور باعث‌تحریک اتمهای استوانه یاقوت، شده و در حقیقت به‌آن انرژی تزریق میکند. بدیهی است که این لامپ در حوزه وسیعی از فرکانس نورمیدهد و برای ما فقط انواری جالب و مفید هستند که دارای فرکانس مطلوب برای تحریک استوانه باشند. باتحریک‌شدن

اتم های یاقوت امیسیون تحریک‌شده‌ای دراتمهای کریستال بوقوع میپیوندد نور ساطع شده بارفت وبازگشت بین دو سرآینه شده یاقوت تقویت گردیده و بشکل اشعه هائی متراکم و قوی ازسمت راست یا قوت که کمتر



شکل ٤ ـ نحوه تقویت نور دریک‌استوانه ازیاقوت

صیقلی و آینه شده است خارج میگردد . ضریب بهره این دستگاه یعنی نسبت انرژی نوری گرفته شده‌به‌انرژی

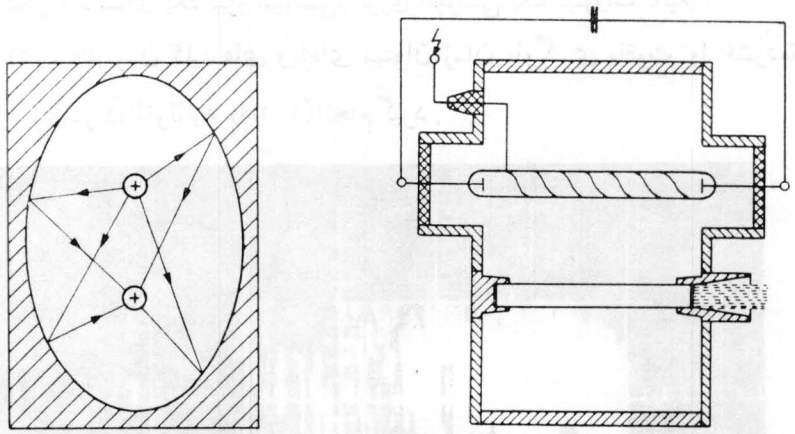


شکل ٥ ـ لیزر یاقوتی ساخته‌شده بوسیله Maiman

الکتریکی داده شده خیلی کم‌بود زیرا که تمامی انرژی نوری لامپ به‌یاقوت استوانه‌شکل نمیرسید و درثانی

انرژی رسیده فقط شامل فرکانس مطلوب نبود و بنابراین فقط قسمتی از این انرژی برای تحریک یاقوت موثر واقع میگردید .

در شکل ٦ یک لیزر مدرن ترکه از طرف کارخانه Raytheon ساخته و تکمیل شده است نشان داده میشود . این دستگاه که از استوانه‌ای توخالی که داخل آن بیضی شکل است و کاملاً صیقلی وآینه‌شده است درست گردیده دارای دومرکز کانونی است . درمحل دومرکز کانونی بیضی ، لامپ تخلیه گاز و استوانه یاقوتی محکم گردیده‌اند . باتبعیت از شکل هندسی تمامی نور ساطع شده از لامپ برروی یاقوت استوانه‌شکل منعکس میگردد . بهره چنین دستگاهی علاوه برتابعیت از عوامل نامبرده شده دربالا از خالص بودن یاقوت نیزتبعیت میکند . این مسئله خودآغاز کوشش زیادتری را برای ساختن کریستال های بهتر و خالصتر نوید میدهد . درجه خلوص یاقوت بکار رفته درشرایط فعلی یک درصداست .

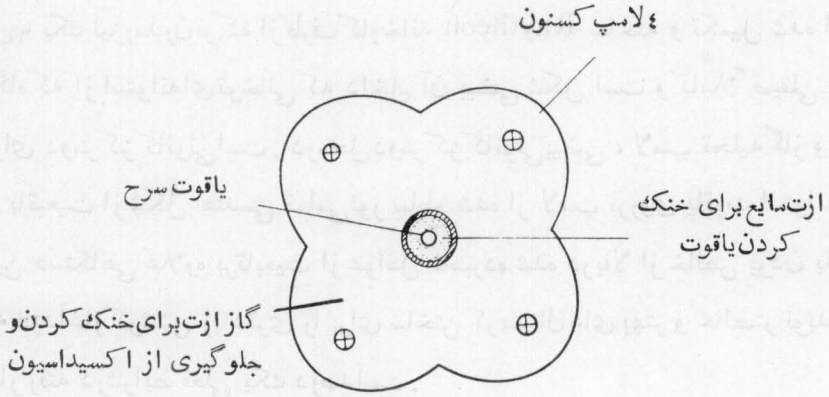


شکل ٦ - شمای لیزر ساخته شده بوسیله کارخانه Raytheon

برای آنکه قدرت لیزر را زیاد کنیم باید انرژی الکتریکی داده شده به‌آن را افزایش دهیم و حجم کریستال را بزرگتر کنیم . بدیهی است که بزرگی حجم کریستال و بالابردن قدرت آن مسئله خنک کردن کریستال را مطرح میسازد که خودمعمای پیچیده ومشکلی است .

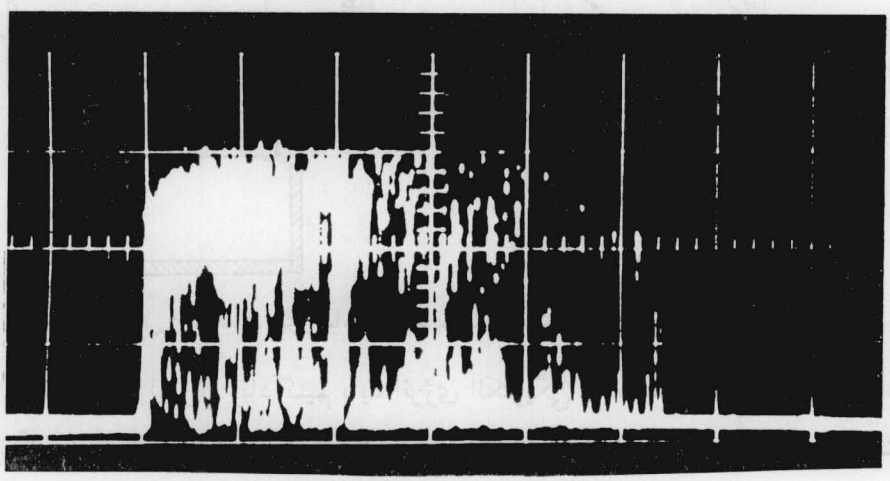
شکل ٧ نمایش دهنده لیزر با قدرت زیادی است که درآن میله استوانه‌ای شکل یاقوت در وسط واقع شده و از چهار لامپ اکسنون انرژی میگیرد . درچنین دستگاهی لامپ اکسنون برای مدت زمان یک میلی ثانیه نور میدهد و امپولس نوری دستگاه نیز یک میلی ثانیه ادامه مییابد . امواج الکترومغناطیسی ایجاد شده ، اختلاف فازی زمانی معادل چندصد میکرو ثانیه بین این دو نیرو بوجود میآورند . این مدت ، زمان گرفتن انرژی بوسیله یاقوت استوانه‌ای شکل است . چنانچه این امپولس نوری لیزر را بر روی صفحه اسسیلوگرافی آورده و آن را برروی محور زمانی باز کنیم مشاهده میشود که امپولس ابداً یک امپولس واحد نیست بلکه از مجموعه اشعه‌های با فرکانسهای بسیار کوچک تشکیل گردیده است . علت فیزیکی این پدیده آنستکه در زمان یکهزارم ثانیه که انرژی به‌یاقوت داده میشود در کریستال تخلیه

الکتریکی نیز انجام میگیرد وازآنجا که زمان بارگیری طولانی‌تراز زمان تخلیه‌است‌امپولسهای بسیار کوچک پشت سرهم بظهور میرسند .



شکل۷ ـ شمای یک لیزر امپولسی‌باانرژی امپولسی یک کیلووات ثانیه

بدیهی است که بابکاربردن کلیدهای ویژه‌ای میتوان زمان بارگیری یاقوت را فشرده‌تر و کوتاهتر ساخت وتخلیه‌پس‌ازبارگیری‌در ده‌نانوثانیه (۱۰ns)انجام گیرد .



شکل ۸ ـ اسسیللوگرام امپولسهای پشت‌سرهم ساطع‌شده از یک‌لیزر

در زیر کوشش‌میشودتا بزرگترین قدرت‌ممکن‌را که از لیزر میتوان گرفت بطور تقریبی محاسبه کرد .

در یک لیزر مشتمل ازسه طراز انرژی تعداد مواضع اشغالی اضافی تقریباً برابر است بانیمی از مجموعه ایونهای فعال :

$$N_2 - N_1 = \frac{\Sigma N}{2}$$

و بنابراین انرژی نوری مفیدعبارت خواهد بود از :

$$W = (E_2 - E_1)\frac{\Sigma N}{2}$$

تعداد ایونهای یک یاقوت که ۰٫۵ درصد جسم‌فعال به‌آن وارد کرده باشیم $(Al_2O_3 : Cr^{+++})$ ، درواحد حجم عبارت است از :

$$\frac{\Sigma N}{V} = ۱٫۶۲ \times ۱۰^{۱۹} cm^{-۳}$$

و برای یک انرژی‌ای معادل :

$$E_۲ - E_۱ = h \times \nu_{۲,۱} = ۲٫۸۶ \times ۱۰^{-۱۹} ws$$

انرژی مفید نوری در هرسانتیمتر مکعب آن برابربا ۲٫۳۲ws خواهد گردید.

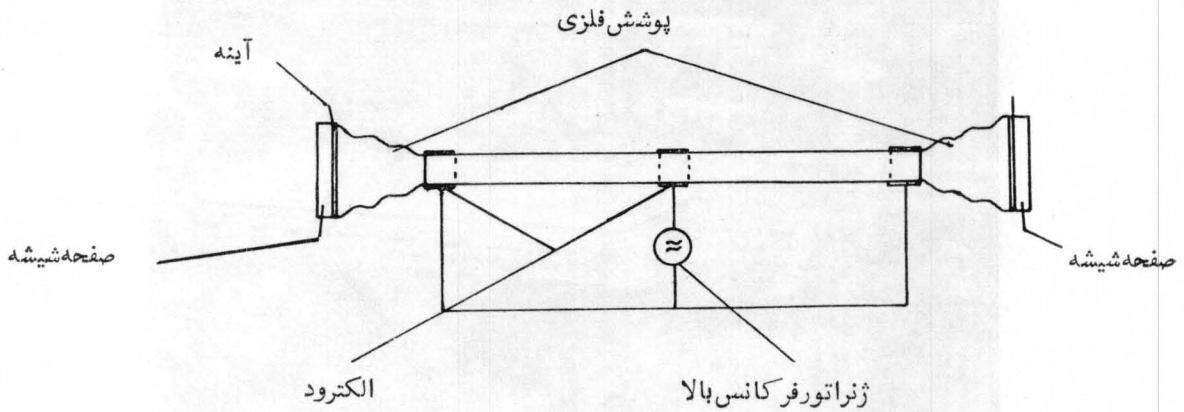
استوانه یاقوتی‌ای بطول ۰٫۵ میلیمتر وقطر ۶ میلیمتر میتواندانرژی‌ای برابر ۳٫۲۰ وات ثانیه‌بدهد. درلیزرهای امپولسی با قدرت زیاد میتوان تا حدود ۸۲Ws انرژی بدست آورد واگر این انرژی را بشکل امپولسهای کوتاهی در ۰٫۱ نانوثانیه بشکل‌نور خارج‌سازیم ، ازاین راه نیروئی معادل ۳۲۰ تا ۸۲۰۰ MW بدست میآوریم.

بمجرد انتشار موفقیت Maiman سایر موسسات و آزمایشگاهها شروع بیک سلسله آزمایشهابرای بدست آوردن سایر اجسام اکتیو کردند. درحال‌حاضر درکنار اجسام جامد از مایعات و گازها نیز برای‌ساختن لیزر استفاده میشود . بعلاوه‌شیوه‌های دیگری برای تحریک گاز بجای استفاده از نورلامپ معمول شده‌است.

بعنوان مثال : لیزرهای ساخته شده از نیمه هادیها ویالیزرهای ساخته شده ازگازهای نادر مانند هلیوم ونئون‌را که تحریک آنها ازطریق تخلیه الکتریکی ضربه‌ای گاز انجام میگیرد ، میتوان نام برد. همچنین درگذشته نزدیکی لیزری از بلور «کالسیوم ، ولفرامات» ساخته شد. لیزرهای اخیر بویژه از آنجهت مهم میباشند که کمپانی Bell امریکا باآن توانسته‌است لیزری با اشعه دائمی بسازد. بعلاوه یکی ازکارخانهای آلمان در سالهای اخیر توانسته است کریستال بالا را بادرجه خلوص قابل توجهی تهیه نماید .

۳ ـ لیزرگازی :

درسال ۱۹۶۱ جوان ، فیزیکدان ایرانی ودوهمکار دیگر وی Bennett و Herriott توانستند



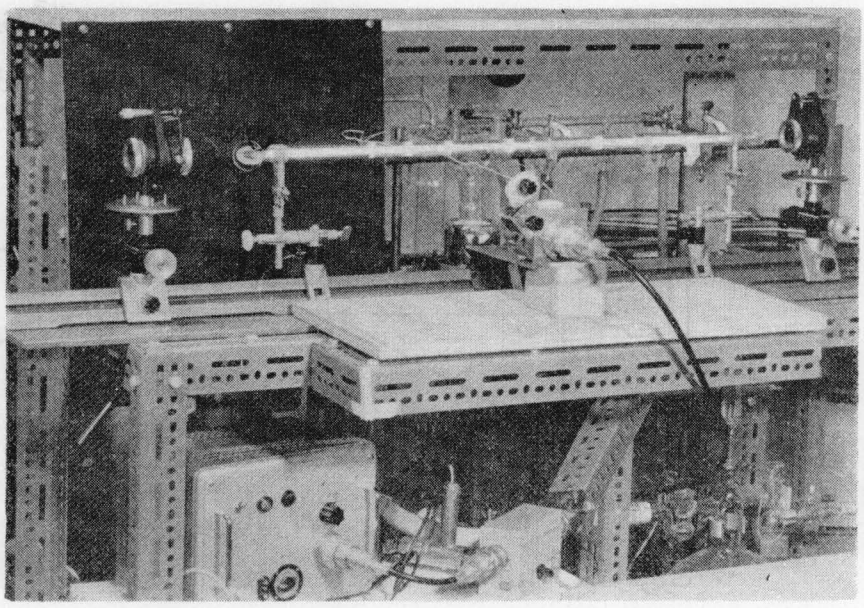
شکل ۹ ـ شمای‌لیزرساخته‌شده بوسیله جوان ـ بنت‌وهریوت

اولین لیزرگازی را ساخته و آماده بکار نمایند که در حقیقت اولین لیزر از این‌نوع بانور دائمی بود. این‌لیزر قدرتی‌درحدود ۰٫۱ تا ۰٫۲ میلی وات‌داشت. شکل ۹ ساختمان لیزر ساخته شده بوسیله‌ی‌جوان رانمایش‌میدهد.

این دستگاه از یک‌لوله شیشه‌ای‌بطول یک‌متر و بقطر ۲ سانتیمتر ساخته شده است که دردوانتهای آن دوآینه متحرك تعبیه گردیده‌است. لوله با گاز هلیوم‌ونئون به‌نسبت‌فشار ۱۰ به‌یک پرشده‌است. سه‌الکترود بر روی این لوله‌آنطور که درشکل نمایش داده میشود تعبیه گردیده است و این الکترودها از ژنرانوری با فرکانس ۲۸ مگاسیکل تغذیه‌میگردند. قدرت ژنراتور درحدود ۵ وات‌است و تخلیه‌الکتریکی‌ای را درداخل لوله پرشده ازگاز امکان پذیر مینماید. واضح است که دوآینه واقع شده درطرفین باید بنحوی تعبیه ومدرج شوند که بتوانند بعنوان نوسان سازاپتیکی عمل نمایند. مکانیزم این لیزر در حقیقت باآنچه که تاکنون شرح داده‌ایم تفاوتهائی دارد، بدینمعنی که ابتدا اتمها و ایونهای گاز هلیوم از طریق بمباران باالکترونهادریک حالت تحریک برروی مدار Metastabil برده میشوند (زمان پایداری این‌حالت تحریک 10^{-2} ثانیه است) سپس این انرژی بدون ساطع شدن نور بمداری هم‌سطح درگاز نئون تحریک شده منتقل میگردد گاز نئون انرژی گرفته شده را بشکل موج فشرده شده الکترومغناطیسی در حوزه مادون قرمز تا حوزه مرئی بیک مدار پائین‌تر واقع شده میدهد.

برای درك نحوه برخورد الکترونهاباا‌تم‌ها و ایون‌های گاز هلیوم بیان فیزیکی ایونیزاسیون‌ضربه‌ای مفید بنظر میرسد، این قانون بطورکلی ازدیاد الکترون‌ها را دربین راه‌کاتد به‌آند تابعی توانی با پایه e میداند. اکنون اگر برخورد الکترونها با اتمها و ایونها در فاصله‌های کوتاه زمانی 10^{-7} تا 10^{-2} (بسته‌آنکه مدار پایدار یاپایدارترباشد) انجام‌نگیرد انرژی جذب شده بوسیله‌اتم بشکل فوتون بازگشت داده‌میشودواین فوتونها درطول راه واقع شده بین دوآینه بارفت‌وبرگشت تقویت‌میگردند.

دریک‌دستگاه تازه ساخته‌شده بوسیله همان فیزیکدانها لوله‌محتوی گاز به‌دوصفحه شیشه‌ای که‌بطور



شکل ۱۰ - لیزر گازی ساخته شده درانستیتوالکترونیک دانشکده‌آخن

مایل قرار میگیرند منتهی میشود و آینه‌های منعکس کننده درفاصله معینی از این لوله در دو طرف آن قرار

میگیرند وبدین ترتیب مدرج کردن آینه ها آسان میشود. دراین لیزراز جریان دائم برای تحریک و تخلیه الکتریکی گاز استفاده میشود. درخاتمه بیان مکانیزم لیزر گازی بی‌فایده نیست که ساختمان یک لیزر گازی ساخته شده درانستیتوی دانشگاه آخن را نشان دهیم شکل ۱۰.

٤ ـ لیزر نیمه هادی :

«لیزر نیمه هادی» که درسال ۱۹٦۲ برای اولین بار بوسیله شرکت آمریکائی IBM ساخته شددردو مورد بالیزر جسم‌جامد و لیزر گازی تمایز دارد.

٤ر۱ - بهره لیزر یعنی نسبت نیروی گرفته شده به‌نیروی الکتریکی داده شده بیش از لیزر با یاقوت یا با گاز هلیوم است و بهره آن درحال حاضر در حدود ۳۰ درصد است.

٤ر۲ - انوار متراکم وبهم‌تابیده شده دراین‌لیزر مانند لیزرهای جسم‌جامد از یک حجم‌بزرگی‌ساطع نشده بلکه از یک پوسته نازك نیمه‌هادی pn که کلفتی آن درحدود طول موج نور میباشد خارج میگردند. شکل ۱۱ نمایش ساختمان این لیزر را میدهد. قسمت‌اصلی این لیزر درحقیقت همان قطعه نیمه هادیست. مثلاً GaAs که تحت همان‌شیوه‌معموله درساختن نیمه هادی ها یعنی باصطلاح کثیف کردن جسمی باجسم دیگرانجام میگیرد. بدینطریق‌قطعه زاینده‌الکترون n وقطعه‌زاینده‌ایون(دراجسام‌جامدباصطلاح‌سوراخ) P تهیه‌میگردد(۱). حالا بوسیله دوالکترود تعبیه‌شده نیمه هادی را به‌یک مولد اتصال میدهیم و جریان I از آن میگذرد. درمرز دو قطعه الکترون‌ها وایونها جمع میگردند وبا آزاد کردن تفاوت انرژی آنها به شکل فوتون :

$$E_2 - E_1 = h \times \nu_{2,1}$$

دوباره باهم اتم خنثی را تشکیل میدهند.

اکنون اگر باجریان‌اتصال یافته I بنحوی انرژی‌ها E_1 و E_2 را تعیین کنیم که‌اختلاف‌انرژی ساطع شده بشکل نورکافی باشد این‌نور را باتعبیه زروناتورهای مناسب که دراین مورد صفحه باریک حد فاصل دوقطعه کریستال میباشد، تقویت میکنیم.

۵ ـ موارد استعمال لیزرها :

درنظر اول دیده میشود که لیزر درایجاد انوار یکرنگ بهم تابیده شده باچگالی‌بالا،رل اساسی‌خود را بازی میکند. خواص شمرده شده بلافاصله امکان‌بکار بردن اشعه‌لیزر را درفن ارتباطات مسلم میسازد که درآن اشعه لیزر بافرکانس معین بعنوان «فرکانس حامل» مورد استفاده قرار میگیرد. چنانچه مهندسین‌فن ارتباطات موفق گردندبرای فرکانس‌اشعه لیزر همانطورکه درامواج بینهایت کوتاه(مایکروویو) معمول‌است، طریقه مدولاسیون باند پهنی پیدا کنند میتوان با همان باند با پهنای نسبی ۱ درصد مثل امواج بسیار کوتاه تلویزیون (پهنای‌باند ٥ مگاسیکل بافرکانس حامل ۵۰۰ مگاسیکلی) فقط بایک فرکانس حامل ۳۰۰THz

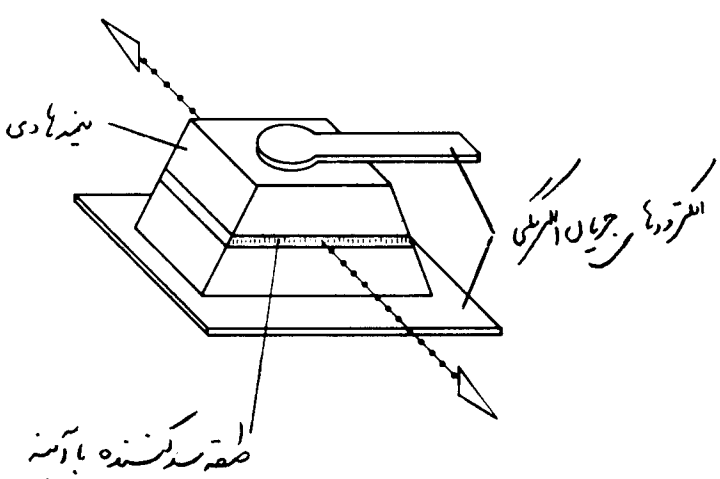
---

۱ - برای اطلاع بیشتری‌رجوع‌شود به‌مقاله ترانسیستورها از مهندس‌محمدقلی-محمدی مجله علمی‌وفنی‌شماره۳ سال دوم (۱۳۳۷)

(طول موج یک میکرومتر ، یعنی درحوزه مادون قرمز) با باندی به‌پهنای مطلق ۳THz تقریباً نیم میلیون کانال تلویزن ویا ۷۰ میلیون کانال تلفنی را تغذیه کرد . بدیهی است درحال حاضر و درآینده نزدیکی نه‌احتیاج به‌چنین امری موجود است ونه‌اشکالهای متعدد فنی اجازه عملی ساختن آن‌را میدهد .

در موارد ارتباط نوری با اجسام‌وکرات دیگر باید گفت که فرستادن اشعه نور یک لیزر یاقوتی بازاویه‌دهانه درحدود $\frac{1}{60}$ درجه در فاصله‌ای برابر یک کیلومتر قطری‌برابر ۳۰ سانتیمتر و پس از طی‌مساحتی برابر با ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر (فاصله‌زمین تا ماه) قطری‌برابر ۹۰ کیلومتر پیدا خواهد کرد (این آزمایش برروی کره ماه عملی شده است وقطر لکه نور برروی ماه بوسیله دستگاههای الکتریکی و عدسیهای قوی‌اندازه‌گیری شده است .

لیزر همچنین در دریانوردی و فضا پیمائی وفن رادار موارد استعمال متعدد پیدا کرده است . چگالی قدرت شگفت‌انگیز لیزر اجازه میدهد که بکمک اشعه‌آن‌درفلز سازی و جواهرسازی استفاده‌های‌فراوانی ازآن‌بشود بعنوان مثال‌بکمک اشعه لیزر طبق اطلاع کسب شده از مجلاب علمی امریکا توانسته‌اندسوارخی به‌قطر یک میکرومتر درسیمی به‌قطر ۵ میکرومتر تعبیه کنند . بهمین قسم میتوان بکمک اشعه لیزر فولاد وحتی سرامیک را جوش داد ویا برید . درعلم‌طب نیز توانسته‌اند بکمک اشعه‌لیزر نه‌تنها جراحی‌ها و برش‌های دقیقی را انجام دهند بلکه مثلاً در جراحی چشم‌شبکیه جداشده را مجدداً پیوست دهند .



شکل ۱۱ - لیزر نیمه‌هادی

با شناسائی باصول ساختمان لیزرو وقوف برموارد متعدداستعمال آن جادارد که با تخصیص‌بودجه لازم‌وآماده‌کردن وسائل لازم آزمایشگاهی، دانشگاه مانیز تحقیق‌وتتبع را در زمینه این پدیده فیزیکی شروع کند بویژه آنکه تکامل این‌دستگاه هنوز به‌مراحل‌آخرین‌خودنرسیده است.

قبل از پایان یافتن این‌نوشته در روزنامه خبری‌دی‌ولت آلمان خبری مربوط به‌تکامل و ساختمان

دستگاه عکس برداری تلویزیونی به کمک لیزر خواندم . این دستگاه قادر به برداشتن عکسهائی با درجه دقتی ده‌برابر عکس های کنونی میباشد . ازچنین دستگاه‌عکس‌برداری بویژه دراقمار مصنوعی استفاده خواهد شد . دستگاه عکاسی مزبور بوسیله کمپانی Radio Corporation of Amrica ساخته وتکمیل گردیده‌است .

منابع

1) Rosenberger,D Schwingungstypenspeketrum in He - Ne Gaslaser . AEU 17 (1963).
2) Gloge , D. , J.Helmcke und Runge , Ein stabiler Gaslaser mit eindeutiger Ausgangsfrequenz. Frequez 18 (1964).
3) Nelson D , F., und N. S. Boyle, A continously operating Ruby optical Maser Appl. Optics 1 (1962) Heft 2.
4) Harris, S.E., O.P. Mc Duff und R. Targ , FM Laser Oscillation, Theory and Experiment. IEEE , Part 5 (1965)