

لیزر
نورشکفت انگیز

ل. و. تاراف - ن. زبولف



ترجمه
جواد مددی

لیزر نور شگفت انگیز

الر : ل . و — تاراسف بن زبولف

ترجمه : جواد مددی

دل هر ذره را که بشکافی
آفایش در میان بینی

آنار دیگر این مترجم

آنچه چاپ شده است:

- ❀ ۱ - لیزر و کاربردهای آن
- ❀ ۲ - ستارگان و سیارات
- ❀ ۳ - فیزیک لیزر

* نام کتاب: لیزر نو و شگفت انگیز

* اثر: تاداوف نزبولف

* ترجمه: جواد مددی

* حرفچینی: مؤسسه حرفچینی کوهی

* چاپ اول: ۱۳۶۸ - تیراژ ۵۰۰۰

* لیتوگرافی: اردیا

* صحافی: مینو

* چاپخانه: حیدری

* ناشر: مولف

* حق چاپ برای ناشر محفوظ است

* پخش: انتشارات گوتبرگ

بنام خدا

یادداشت مترجم

در میان یافته‌های علوم و مهندسی قرن بیستم لیزرها ارزش و جایگاه ویژه‌ای را بخود اختصاص داده‌اند. ابداع لیزر در سال ۱۹۶۰ توسط میمن راهگشای پژوهش و تحقیقات گستردگای در این زمینه از تکنولوژی گردید. امروزه لیزرها و سیستم‌های لیزری کار بردهای وسیعی در رشته‌های پزشکی و علوم و مهندسی پیدا نموده‌اند، از لیزرها در زمینه‌های کامپیوتر، سیستم‌های ناوبری، مخابرات، دستگاههای اندازه‌گیری و مراحل پیچیده تکنولوژی بهره برداری می‌گردد. برای مثال میتوان اشاره‌ای به تهیه تصویر سه بعدی با بکارگیری لیزر بوسیله دنیس گابور اشاره نمود که این کشف در سال ۱۹۶۲ بطور عملی مورد بهره برداری قرار گرفت. امروزه لیزرها یکی از ابزار مهم جراحان در رشته‌های مختلف پزشکی می‌باشند. کاربرد لیز ردارای محدوده وسیعی است که اگر بخواهیم فهرست وار به آنها اشاره کنیم، خود مشتمل بر چندین صفحه می‌گردد. از آنجاکه متناسبانه منابع زیادی در زمینه سیستم‌های لیزری و کاربردهای آن به زبان فارسی وجود ندارد. مترجم برآن شد تا با توجه به کتابهای قبلی خود کتاب دیگری را با نام لیزر نور شکفت انگیز ترجمه و بچاپ برساند.

آنچه در این کتاب از نظر خوانندگان میگذرد شامل چهار بخش است بخش اول شامل فیزیک لیزر و مراحل منتهی به صدور نور همدوس است بخش دوم به بحث درباره انواع لیزرها پرداخته بخش سوم کنترل اشعه لیزر و بخش چهارم شامل کار بردهای اشعه لیزر در زمینه‌های مختلف می‌باشد. منابعی که در تهیه این کتاب مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از

Laser age-in optics

۱- اثر: تارازف

Laser physics –and application ۲

Lasers and their prospects ۳

امید آن می‌رود کتاب حاضر در جهت کسب اطلاعات علمی علاقمندان به این رشته از دانش مفید واقع گردد.

جواد مددی - فرمانستان ۱۳۶۸

فهرست مطالب

مقدمه

فصل اول

- امواج نوری و فوتونها
- همدوسي نوری
- انتقالات کوانتمی در جذب و نشر نور
- محیط فعال - ایجاد جمعیت وارونه
- مشخصات اساسی لیزرهای

فصل دوم - انواع لیزر

- روش‌های پمپاژ
- لیزرهای جامد
- لیزرهای رنگی مواد آلی
- لیزرهای تجزیه فوتونی

- لیزرهای یونی و اتمی

- لیزرهای ملکولی

- لیزرهای الکترو یونیزاسیون

- لیزرهای گازی دینامیک

- لیزرهای شیمیائی

- لیزرهای پلاسما

- لیزرهای نیمه هادی

فصل سوم - کنترل خروجی لیزر

- کنترل داخل محفظه‌ای مشخصات طیفی

- روش‌های ذخیره سازی

- لیزرهای ضربه‌ای

- ایجاد طپش‌های فوق العاده کوتاه

.. تبدیل فرکانس در محیط غیر خطی

- اصلاح موج جبهه‌ای خروجی لیزر

- ایجاد انکسار در شعاع نور

فصل چهارم

- کار بر روی مواد

- لیزر در پزشکی

- جدا سازی ایزوتوپ‌ها

هولوگرافی

زیرسکوپ‌های لیزری

کاربرد لیزر در کشف و رد یابی

مسافت یاب لیزری

لیزر در جستجوی اتمار

استفاده از لیزر در تجهیزات فضائی

ارتباط با فضا پیما بهنگام ورود به جو زمین

اکتشاف و بهره برداری از لیزر جهت برقراری ارتباط در زیر دریا

کاربردهای نظامی لیزر

کاربرد لیزر در پزشکی و بیولوژی

آزمایش تثویر نسبی انسان

اندازه گیری حرکت قاره‌ها با استفاده از لیزر

زلزله نگاری بوسیله اشعه لیزر

اندازه گیری سرعت

ارتباطات فضائی با استفاده از لیزر

خطوط لوله لیزری

لیزر در ارتباط با تمدن کرات سماوی

کشتی‌های فضا پیمای آینده چگونه خواهند بود

نگاهی به آینده

فصل اول

اصول مقدماتی لیزر

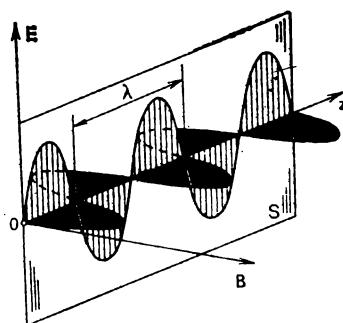
۱-۱ امواج نور و فوتون‌ها

امواج نور: نظریات نور یاتابش نور به امواج الکترومغناطیسی که دارای طول موجی بین $1 / 100$ میکرومتر (هر میکرومتر 10^{-9} متر) است، مربوط می‌شود. این امواج الکترومغناطیسی موسوم به امواج نوری هستند.

از این امواج ما تنها قادر به رؤیت محدوده طول موجه‌ای از $4 / 0$ تا $75 / 0$ میکرومتر می‌باشیم. امواجی که طول موج آنها کمتر از $4 / 0$ میکرومتر است متعلق به محدوده ماوراء بنفش و امواجی که طول موج آنها بیشتر از $75 / 0$ میکرومتر است متعلق به منطقه مادون قرمز

می باشند. در اینجا به یادآوری برخی از ویژگی‌های امواج الکترو مغناطیسی می پردازیم.

موج الکترو مغناطیسی سیستمی است که دارای تغییرات تناوبی میدان الکتریکی و مغناطیسی بوده و نوسانات آن در دو صفحه عمود بر یکدیگر و عمود بر مسیر انتشار و با سرعت نور حرکت می کند. یک تصویر آنی از مقطع چنین سیستمی در شکل ۱-۱ نشان داده شده



شکل ۱-۱ تصویر نمایا تگریک موج الکترو مغناطیسی ساده که بطور ایدهآل تکر نگ و قطبی شده صفحه موج جبهه‌ای بر مسیر انتشار عمود است

این شکل نشان دهنده یک موج الکترو مغناطیسی است که در امتداد مسیر Z حرکت می کند. میدان الکتریکی موج بواسیله بردار میدان الکتریکی E و میدان مغناطیسی بواسیله بردار میدان القاء مغناطیسی B نشان داده می شود. یا بهتر بگوئیم بردار E و B در یک موج الکترو مغناطیسی نوسان داشته و این نوسانات در صفحات عمود بر یکدیگر صورت می گیرد. فرکانس این نوسانات که با علامت N نشان داده می شود متناسب است با $\frac{v}{\lambda}$ (۱-۱) در این عبارت v سرعت

انتشار موج (سرعت نور) در محیط است

$$v = C/n \quad (1-2)$$

در اینجا n ضریب انکسار محیط و C سرعت نور در خلاء است که برابر 3×10^8 متر در ثانیه است، بردارهای E و B دارای اهمیت یکسانی برای موج می باشند. باید توجه داشت اثرات فوتو شیمیائی، فوتو الکترونیک و فیزیولوژیکی نور اساساً در اثر جزء الکترونیک E ایجاد می گردد.

بنابر این بحث ما منحصر و محدود به بردار E خواهد بود.

صفحه ایکه این بردار در آن نوسان می کند (S در شکل ۱-۱) موسوم به صفحه پلاریزاسیون موج است.

شکل ۱-۱ بطور ایده آل یک موج الکترو مغناطیسی را نشان می دهد. این موج قویاتکرنگ است، بدین معنی که دارای طول موج معین λ و فرکانس معین N است، در صفحه ای قرار دارد که عمود بر مسیر انتشار Z است، کاملاً قطبی است، بهمین دلیل نوسانات بردار E در یک صفحه صورت می گیرد. این موج یک موج ساده تکرنگ قطبی است. باید توجه داشت یک موج تخت تکرنگ قطبی فقط در کتابهای درسی عنوان می گردد. آنچه عملاً از یک منبع واقعی نور ساطع می شود دارای مقداری گستردگی در فرکانس است و موج جبهه ای آن هیچگاه بنحو ایده آل ساده نیست. بعلاوه امواج واقعی نور بطور عادی دارای یک صفحه پلاریزاسیون نیستند، بدین معنی که این امواج غیر پلاریزه می باشند. امواج ساطع شده از خورشید یا شعله کبریت یا نور سفید لامپ نیز بهمین شکل هستند.

موج واقعی نور را می‌توان بعنوان مجموعه‌ای از امواج تکریگ، قطبی، ساده دارای فرکانس و مسیر انتشار و صفحه پلاریزاسیون مختلف، مورد بحث قرار داد. اغلب چنین توصیفی بکار برده می‌شود گرچه تا حدی رسمی است. از نقطه نظر فیزیکی صحیح‌تر است که یک موج واقعی نور را بعنوان جزیان ذرات کوچک نور، موسوم، به فوتون‌ها که دارای ساختمان معین با پراکندگی ذرات در سطوح مختلف انرژی است، ارائه گردد.

فوتون‌ها

فوتونها دارای مکان مشخص در لیست ذرات اویله می‌باشند. این ذرات قادر جرم در حال سکون و قادر بار الکترونیکی می‌باشند. فوتون‌های دارای سرعتی معادل سرعت نور در خلاء می‌باشند، همانند سایر ذرات اویله فوتونها قادر ابعاد سه‌گانه هستند.

این سؤوال که فوتونها به چه شbahت دارند و یا ساختمان آنها چگونه است بدون جواب است. بنابر این ما خود را محدود به مسائل ساده نظری محاسباتی که جهت تعریف فوتون بکاربرده می‌شود نموده و برای اینکه قادر باشیم چنین کاری را انجام دهیم می‌بایستی ابتدا انرژی فوتون(ε) و مسیر حرکت آنرا داشته باشیم. لذا می‌توان اشاره نمود با اینکه فوتون را می‌توان بوسیله ممان آن(P) تعریف نمود. مسیر بردار P نشان‌دهنده مسیر حرکت و قدر مطلق P برابر است با نسبت انرژی فوتون به سرعت نور در خلا

$$P = \epsilon/c \quad (1-3)$$

علاوه‌های داریم پلاریزاسیون فوتون را مشخص نمائیم. پلاریزاسیون را با علامت γ نشان می‌دهیم و تعریف آن را در پاراگراف‌های بعدی خواهیم نمود.

باید توجه داشته باشیم که این ویژگی فقط منعکس کننده دو مشخصه از پلاریزاسیون است. لذا برای تعریف یک فوتون ما احتیاج به مشخص نمودن چهار کمیت داریم:

این کمیات عبارتند از تصویر ممان‌های P_x و P_y و P_z و P_{γ} . پلاریزاسیون γ .

از عبارت (۱-۳) بشهولت در می‌یابیم که این عبارت نیز مشخص کننده انرژی فوتون $E = P_C = C[P^2x + P^2y + P^2z]$ است. هنگامی که دو فوتون دارای مجموعه مشابهی از کمیات P_x و P_y و P_z و γ باشند. این دو فوتون دارای حالت مشابه هستند. تبدیل از یک حالت فوتونی به حالت دیگر مستلزم تغییر حداقل یکی از این کمیات است. دو فوتون هنگامی قابل تشخیص از یکدیگر هستند که در حالت مختلف باشند. کلیه فوتونهایی که حالت مشابه را دارند در اصل غیر قابل تشخیص از یکدیگر هستند. باید توجه داشت که مشخصات یک حالت فوتونی مناسب است با مشخصات موج پلاریزه تکر نگشاده. مسیر ممان فوتون منطبق است با مسیری که موج انتشار می‌یابد. پلاریزاسیون فوتون مطابق است با پلاریزاسیون موج.

دو مشخصه پلاریزاسیون در دو صفحه عمود بر یکدیگر قرار دارند.

هنگامی که بیان می‌شود فوتون در حالت پلاریزاسیون $\gamma = \gamma$

قرار دارد بدین معنی است که فوتون متعلق است به طول موجی که دقیقاً دارای چنین پلاریزاسیونی است.

چنانچه بخواهیم انرژی فوتون را در ارتباط با فرکانس بیان

$$\text{کنیم از رابطه} \quad (1-4) \quad h\nu = E$$

استفاده می‌نمائیم. در اینجا h عدد ثابت پلانک ($h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$) است، که چنانچه این مقدار را در عبارت (۱-۳) جایگزین کنیم خواهیم داشت

$$P = h\nu/c = h/\lambda \quad (1-5)$$

معادلات (۱-۴) و (۱-۵) منعکس کننده طبیعت دو گانه تابش است.

این نسبت‌ها حاوی مشخصات ذرات ریز (کوانتم‌ها) e و p بامشخصات موجی ν و λ می‌باشند.

اساساً اینها دو مدل می‌باشند که بیان کننده پدیده نوری هستند. ۱- بموجب نظریه بوهر آنها مکمل یکدیگر می‌باشند و از نقطه نظر ریاضی بوسیله ثابت پلانک به یکدیگر ارتباط دارند. بنابر این یک موج نوری تکر نگک ساده پلاریزه مجموعه‌ای از فوتونهاست که چنین حالاتی را اشغال نموده‌اند.

فرمیونها و بوزون‌ها

کلیه ذرات ریز موجود در طبیعت را می‌توان با توجه به رفتار آنها، یا بگفته فیزیکدانان با توجه به مشخصات آماری آنها، بدو گروه تقسیم نمود. در یکی از گروه‌هادرات ریز رفتار فوق العاده انحصاری

دارند. اگر یک حالت بوسیله یک ذره ریز اشغال شود بقیه ذرات از این حالت تبعیت نمی کنند. عبارت دیگر یک حالت فقط می تواند بوسیله یک ذره اشغال شود. در گروه دیگر ذرات رفتار دیگری در گروه دارند. آنها نه تنها چنین حالت و وضعیت مشترک را به تعداد نامحدود بخود می گیرند، بلکه احتمال اشغال یک حالت مشترک بین کلیه ذرات بیشتر از حالات مختلف دیگر است.

ذرات گروه اول موسوم به فرمیونها (با احترام انریکو فرمی فیزیکدان برجسته ایتالیائی) و ذرات گروه دوم موسوم به بوزونها (با احترام بوز فیزیکدان هندی).

برای مثال الکترنها متعلق به گروه فرمیونها می باشند. می بایستی توجه داشت این آمار موسوم به آمار فرمی دیراک است و پراکندگی الکترونها را در مدارهای مختلف اتم معلوم می کند. بنحویکه با دور شدن از هسته تعداد الکترونها سطوح پرشده بصورت ۲-۸-۸-۱۸-۱۸ افزایش می یابند. موضوع دیگر اینستکه مدار الکترنی قادر است تعداد معینی الکترن را به ترتیب اعداد ۲-۸-۱۸ و ... در برداشته باشد. چنانچه الکترنها بتوانند در یک حالت به تعداد بیش از یک واحد تجمع کنند سطح الکترنها دارای کمترین انرژی خواهد بود، درنتیجه کایه انواع عناصر شیمیائی محو خواهند گردید. تجمع فوتونی از قوانینی بجز الکترنها تبعیت می کند زیرا فوتونها جزء بوزونها هستند. بالا بودن تعداد فوتونها در یک حالت مشخص باعث افزایش احتمال اشغال فوتونهای جدید در این حالت خاص می گردد. در پاراگراف های بعدی به اهمیت طبیعت بوزونی فوتون در پدیده نوری بی خواهیم برد.

فوتوون‌ها و امواج نور

حالات یک فوتوون را که دارای مممان P و پلاریزاسیون γ باشند در نظر می‌گیریم. برای این حالت موج نوری ساده، قطبی و تکرزنگ وجود دارد که آنرا موج PV می‌نامیم، اگر γ N تعداد فوتونهای باشند که حالت V را اشغال می‌نمایند هنگامیکه

$$NP\gamma \gg 1 \quad (1-6)$$

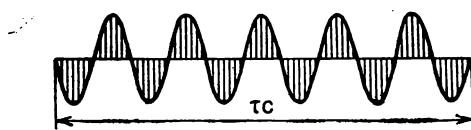
باشد، حالت فوتونی داده شده حاوی تعداد بسیار زیادی فوتوون است. ممکن است ساختمان ذره‌ای تابش را نادیده بگیریم و آنرا مانند محیط ممتد یا یک موج ساده تکرزنگ پلاریزه نوری (یک موج پلاریزه PV) در نظر بگیریم. گرچه تازمانیکه شرط (۱-۶) برقرار است ساختمان مجزای میدان تابش را نمی‌توان نادیده گرفت. این موضوع بسیار ساده است که ببینیم وجود امواج نورانی از طبیعت بوزونی تبعیت می‌کنند. زیرا در غیر اینصورت هر حالت فوتون می‌تواند فقط یک فوتون را در بر گیرد.

همدوسوی نوری

امواج نورانی نامنظم
رشته‌های موج:

نور واقعی حاوی فوتون در حالات مختلف است، فوتون‌ها بواسیله اتمهای مختلف مواد ساطع کننده نشر می‌یابند—فوتوهای ساطع

شده از نقطه نظر انرژی، میسر، ممان و پلاریزاسیون با یکدیگر تفاوت دارند.



شکل ۱-۲- رشته موج را می توان بعنوان جزئی از موج تک در نظر گرفت بعبارت دیگر تابش حاوی چنین فوتونها را می توان نامنظم خواند این تابش را می توان بوسیله یک موج ساده تک نگه ارائه نمود. امواج نورانی حاصله از چنین ساطع کننده های بی نظم و ترتیب دارای گستردگی فوتونی در حالات مختلف می باشد. یک موج نورانی نامنظم اغلب شبیه به بسته های کوچک موج یا رشته های موج می گرددند. فرض کنید فوتونهایی که یک تابش را تشکیل می دهند به گروههای پراکنده گردیده باشند که هر یک از آنها دارای تعداد زیادی فوتون در حالت مشابه باشند.

هر یک از این گروه ها یک رشته موج را ارائه می دهد . برای سهولت تصویر یک رشته موج را می توان بصورت یک منحنی که دارای مشخصات فوتون است نشان داد .

جمعیت فوتون در این حالت یعنی تعداد فوتونها در رشته بصورت طول رشته موج نشان داده می شود . لذا تعداد بیشتر فوتونها

در یک حالت فوتونی که مورد نظر گرفته می‌شود متناسب است با رشته موج طویل‌تر. شکل ۱-۲ نشان‌دهنده یک رشته موج با زمان تناوب t و طول فضائی C

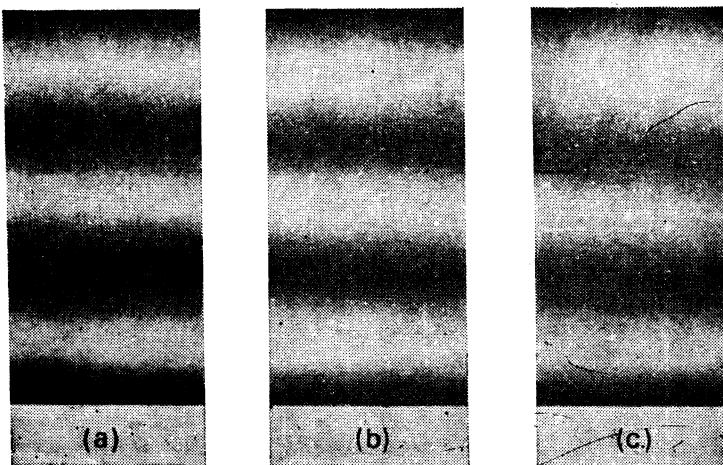
همدوسی امواج نورانی

هرچه موج نورانی نامنظم‌تر باشد، زمینه‌های تداخلی حاصله در آزمایش معروف یانگ که حاوی دو مرکز موج است، کمتر می‌گردد. قدرت موج جهت ایجاد حواشی تداخلی را با اندازه گیری شدت وضوح حواشی مشخص می‌نمایند، این امر موسوم به آشکاری (وضوح) حاشیه (فرانش) می‌باشد و بوسیله رابطه زیر تعریف می‌گردد

$$(1-7) \quad V = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$$

در این رابطه I_{max} درخشندگی در مرکز حاشیه روشن و I_{min} درخشندگی در حاشیه تاریک است. ما کزیموم درخشندگی هنگامی حاصل می‌گردد که $I_{min} = 0$ باشد، و مینموم درخشندگی زمانی وجود دارد که $I_{max} = I_{min}$ باشد یعنی زمانیکه هیچگونه تداخلی آشکار نباشد. هرچه قدرت موج جهت ایجاد حواشی تداخلی بیشتر باشد، وضوح (نمایانی) بیشتر خواهد بود بهمین دلیل میزان درخشندگی به عدد یک نزدیک‌تر می‌گردد.

مقایسه زمینه تداخلی در شکل ۱-۳ ملاحظه می‌گردد، در این شکل وضوح (نمایانی) از A به C تنزل می‌کند.



شکل ۳-۱- زمینه های تداخلی نمایانگر اشکال مختلف نمایانی (وضوح) است که از ۸ به ۰ کم می شود.

برای اندازه گیری توانانی امواج نورانی جهت ایجاد حواشی تداخلی یک مشخصه مهم معرفی می گردد، که موسوم است به درجه همدوسری موج نور. هرچه درجه همدوسری بیشتر باشد احتمال بیشتری جهت ایجاد در زمینه تداخلی وجود دارد. کاهش نور باعث افزایش بی نظمی داخلی می گردد. موج ساده تکرنگ قطبی یک موج ایده آل همدوسر است . این موج حاوی بالاترین ظرفیت جهت ایجاد حواشی تداخلی در آزمایش معروف یانگ است این موج منظم ترین موج است در نهایت می توان غیر همدوسر را مطلقاً نامنظم خواند ، بدین معنی که

این امواج بطور مطلق توانائی زمینه تداخلی را ندارند. در واقع حالات میانهای با درجات مختلف همدوسی وجود دارد. بطور صریح بگوییم. هیچگاه بطور ایده‌آل امواج همدوس و غیر همدوس وجود ندارند، بلکه امواج واقعی تا حدی همدوس می‌باشند.

درجه همدوسی امواج نور و جمعیت حالات فوتونی

درجه همدوسی امواج نورانی با توجه به پراکندگی فوتونها به حالات مختلف فوتونی تعریف می‌گردد. همدوسی ایده‌آل در موج ساده، تکرنگ، قطبی که کلیه فوتونهای آن در یک حالت هستند وجود دارد. کلیه فوتونها دارای انرژی مساوی، مسیر و ممان و پلاریزاسیون یکسان می‌باشند. در یک موج نور واقعی فوتونها حالات مختلفی را اشغال می‌کنند، برخی از این حالات پر جمعیت و برخی کم جمعیت می‌باشند. درجه عدم تکرنگی یک موج را می‌توان با توجه به پهنهای نسبی باند تعریف نمود.

$$\Delta u/u = \Delta \epsilon$$

که در اینجا $\Delta u/u$ فرکانس مرکزی موج و $\Delta \epsilon$ اختلاف فرکانس می‌باشد که بیان کننده گستردگی فرکانس در اطراف مقدار اصلی است (این گستردگی همراه است با گستردگی انرژی فوتون $\Delta u = h\Delta \epsilon$). درجه واگرایی زاویه مخروطی است که محدوده نور را مشخص می‌کند و موسم است به زاویه تقارب، هر قدر موج جبهه‌ای به یک سطح نزدیک‌تر باشد زاویه تقارب کمتر است. درجه پلاریزاسیون نور

بطور تجربی بوسیله یک پلاریزر که مشکل است از یک بلور مخصوص اندازه گیری می شود. این بلور امواجی را که بردار الکتریکی آنها از یک سطح خاص نوسان می کند از خود عبور می دهد. با چرخش بلور آزمایشگرمی تواند درخشندگی نوری را که از داخل بلور عبور می کند در جهات مختلف بمنظور پیدا کردن میزان شدت ماکریموم I_{min} و I_{max} اندازه گیری نماید.

$$P = (I_{max} + I_{min}) / (I_{max} - I_{min})$$

(۱-۹) درجه عدم تکررنگی و اختلاف زمانی t با طول موج مناسب است چنانچه می توان نوشت:

$$\zeta = 1/tv. \quad (1-10\text{ a})$$

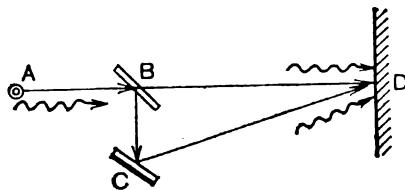
با مشاهده معادله (۱-۸) می توان عبارت زیر را نتیجه گیری نمود:

$$\Delta v = \frac{1}{t} \quad (1-10\text{ b})$$

کمیت t موسوم به زمان همدوسی است. هر چه زمان همدوسی بیشتر باشد همدوسی شعاع نور بیشتر است.

همدوسی قبل از ظهور لیزر

اپتیک قبل از ظهور لیزر موسوم به اپتیک غیر همدوس است.



شکل ۱-۴- مشاهده تداخل بین امواج یک رشته موج

این نام نسبتاً مشروط است. در اینجا می‌بایستی از درجه کم همدوسي صحبت نمود.

البته می‌بایستی توجه داشت درجه کم همدوسي در اصل می‌تواند جهت تولید زمینه تداخلی استفاده شود بنابر اين وجود زمینه تداخل امواج قبل از ظهرور لیزر بوسیله منابع معمولی نور تعجب آور نیست باز می‌گردیم به نمایش امواج نوری بوسیله رشته‌های موج. رشته‌های مختلفی که بوسیله یک منبع نور ساطع می‌شوند. گرچه رشته‌های موجی که بوسیله یک منبع نور حاصل می‌گردند قادر نیستند یک زمینه تداخلی قابل ملاحظه‌ای را ایجاد نمایند. لیکن می‌توان زمینه تداخلی مناسبی را با طرح زیر عملی نمود. نحوه عمل در شکل ۱-۴ نشان داده شده، در این شکل A یک منبع نور است B یک آینه نیمه شفاف است که بعنوان جدا کننده نوری استفاده می‌شود، C یک آینه کامل‌امن‌کس کننده و D یک صفحه تداخلی کاملاً سفید است. جدا کننده

نوری B رشته موج را از یکدیگر جدا می‌سازد. هنگامی آینه C رشته متباعد را در نقطه‌ای منعکس می‌کند که قسمتی از رشته موج پس از عبور از آینه B بآنجا رسیده. حال بمنظور اینکه قسمتهاشی از این رشته در قسمتی از صفحه تداخلی با یکدیگر تلاقی کنند می‌بایستی این شرط برقرار باشد.

$$L < t_C \quad (1-11)$$

در اینجا t_C طول رشته و L اختلاف مسیر قسمتهاشی از رشته موج است که طی می‌نماید تا به نقطه D برسد. در اینجا رابطه زیر برقرار است.

$$L = BC + CD - BD$$

هنگامیکه این شرایط برقرار باشد یک زمینه تداخلی ثابت مشاهده می‌گردد آنچه در شکل ۱-۴ مشاهده می‌گردد. در تجارب اپتیکی قبل از ظهور لیزر نظیر منشور فرنل، تداخل سنج فابری پرو، آزمایشات تداخل سنجی بمنظور مشاهده حلقه‌های نیوتون و فیلم‌های نازک غیر یکنواخت، نیز مشاهده گردیده. در کلیه این تجارب یک زمینه تداخلی را بخاطر کوچک بودن اختلاف مسیر L (حدود یک میلیمتر در اغلب آنها) می‌توان مشاهده نمود.

این مفهوم دارای اهمیت است زیرا برای منابع نور معمولی طول رشته‌های موج t_C هر گز بیش از یک سانتی‌متر نمی‌گردد.

همدوسی شدید تابش لیزر : اختراع لیزر ایجاد دگرگونی شدید در داشن اپتیک نمود. اختراع لیزر انسان را موفق به دسترسی به نوری با همدوسی زیاد نمود. زمان همدوسی یک تابش لیزر ممکن

است به^۳ — ۱۰ ثانیه برسد بمعنی آنستکه طول همدوسي (t_C) ممکن است به^۵ ۱۰^۵ متر (یکصد کیلو متر) برسد. این میزان هفت برابر عظیم تر از طول همدوسي منابع نور معمولی است. بهتر بگوئیم زاویه واگرانی نور لیزر ممکن است تا حد یک دقیقه پائین بیاید.

انتقالات کوانتمی در

جذب و نشر نور

حال که به مفهوم همدوسی نور اشاره نمودیم نگاهی به اصول کار لیزر می‌اندازیم بحث خود را با مراحل اصلی تأثیر متقابل تابش با اتمها و ملکولها در یک میدان شروع می‌نماییم.

سطوح انرژی اتمها و ملکولها - انرژی یک اتم یا ملکول می‌تواند مقادیر قطعی و معینی را داشته باشد. این مقادیر تراز انرژی اتم یا ملکول می‌باشند. انتقال یک اتم یا ملکول از یک سطح انرژی به سطح دیگر در یک پرش موسوم به انتقال کوانتمی صورت می‌گیرد. انتقالات کوانتمی را می‌توان بطرق مختلف القاء نمود. این انتقالات را بطور اخص می‌توان در اثر تابش نور ایجاد نمود. اتم‌های هر عنصر شیمیائی دارای مشخصات سیستم خود می‌باشند. فاصله واقعی بین سطوح انرژی اتم بین ۱ تا ۵ الکtron ولت می‌باشد. سیستم سطوح انرژی یک اتم در رفتار الکترoneای که جابجا می‌شوند، تأثیر می‌گذارد.

هر ملکول دارای سه نوع حرکت است که این حرکات بترتیب عبارتند از حرکات الکترونها، ارتعاشات اتمها در ملکول، و چرخش

ملکول. بنابر این با نضم‌مام اینکه ترازهای انرژی با حرکات الکترن‌ها ارتباط دارد. سیستم دارای سطوح ارتعاشی (با فاصله یکدهم ev از یکدیگر) و سطوح چرخش (با فاصله حداقل یکدهم ev از یکدیگر) می‌باشد. لذا سیستم سطوح انرژی یک ملکول بسیار پیچیده تراز یک اتم است.

توجه: ععمولاً واحدی که برای اندازه گیری فاصله بین ترازها بکار برده می‌شود الکtron ولت (ev) است. این مقدار برابر است با میزان انرژی که یک الکtron در میدان الکتریکی که دارای اختلاف پتانسیل یک ولت است. بدست می‌آورد. برای تبدیل آن به واحد SI می‌توان نوشت.

$$1ev = 1/6 \times 10^{-19} J$$

با بکار گیری عبارت $h\nu = hc/\lambda$ و با در نظر گرفتن اینکه $j.e = 6.626 \times 10^{-34}$ درمی یا بیم انرژی یک الکtron ولت معادل است با طول امواج نور معادل با $1.24\mu m$

جذب نور

بمنظور اینکه تصورات ساده‌تری از جذب نور داشته باشیم. بحث خود را بر روی دو تراز یک اتم متمرکز می‌نمائیم. فرض کنید انرژی تراز پائین تر E_1 و انرژی تراز بالاتر E_2 باشد. حال تصویر کنید اتم در تراز پائین‌تر انرژی باشدویک فوتون با انرژی $E_2 - E_1$ از کنار اتم عبور کند. اتم می‌تواند این فوتون را جذب نموده و از تراز E_1 به تراز E_2 برود (شکل ۱-۵).

در اینجا یک انتقال در اثر جذب

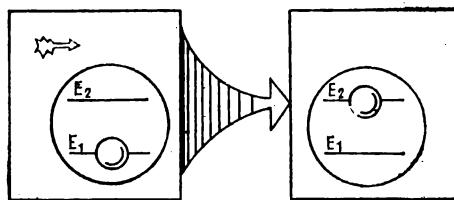


Fig. 1.5 Absorption of light

شکل ۱-۵ جذب نور

کوانتای نوری صورت پذیرفته، اگر W احتمال جذب نور در انتقال $E_1 \rightarrow E_2$ در واحد زمان در اتم یا بعبارت دیگر میزان جذب باشد. این احتمال متناسب است با تعداد فوتونهای که با اتم برخورد می‌نمایند بنحویکه می‌توان نوشت.

$$W = BN\epsilon_{12} \quad 1-12$$

در اینجا N تعداد فوتونها در واحد حجم است که همگی دارای انرژی ϵ_{12} می‌باشند B ضریب انتقال $E_1 \rightarrow E_2$ می‌باشد.

انتشار نور در اثر تحریک

هنگامیکه اتم در تراز بالای انرژی قرار می گیرد یک برخورد فوتونی ممکن است نقش ماشه را داشته و عامل القا انتقال از تراز E_2 به E_1 گردد، که در اینجا اتم به سطح پائین تر می رود . این انتقال بهمراه انتشار یک فوتون می باشد (شکل ۱-۶) فوتون القاء کننده والقاء شده هر دو دارای انرژی $E_2 - E_1 = \epsilon$ می باشند ، یا بهتر بگوئیم هر دو دارای مسیر، ممان و پلاریزاسیون یکسان می باشند.

عبارت دیگر فوتون ثانویه خود را در حالتی می یابد که فوتون اولیه داشت. این در نتیجه رفتار بوزونی فوتونهاست. آنها تمايل دارند در یک حالت تجمع کنند. این پدیده انتشار نور در اثر تحریک است. هرچه فوتونهای اولیه برخورد کننده بیشتر باشند احتمال انتقال انهائی که در تراز E_2 قرار دارد به تراز E_1 بیشتر است . در اینجا می بایستی توجه به برخی از تشابهات بین انتشار تحریک شده و جذب

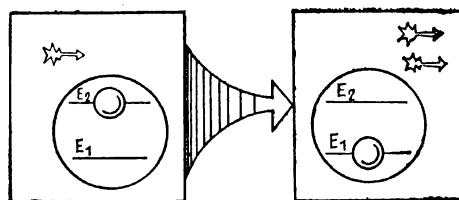


Fig. 1.6 Stimulated emission

شکل ۱-۶- نشر نور در اثر تحریک

تحریک شده داشته باشیم. هردو رویداد متناسب است با تعداد فوتونهای اولیه. احتمال انتشار نور در اثر تحریک (WST) در واحد زمان از رابطه $(1-13) WST = BN_{E_1, E_2} \epsilon$ محاسبه می‌گردد که نظیر عبارت $1-12$ است.

بطور خلاصه، اگر یک اتم در حالت زمینه با انرژی E_1 باشد و یک فوتون با انرژی $E_2 - E_1 = E_{\epsilon}$ آن اصابت نماید، در اتم یاد شده انتقال به E_2 القاء می‌گردد. اگر اتم در سطح انرژی E_2 باشد در اینجا این فوتون قادر است (با همان احتمال مرحله جذب) اتم را از سطح انرژی E_2 به سطح انرژی E_1 باز گرداند، که در اینجا یک فوتون انتشار می‌یابد.

حال فرض کنیم اتمهای زیادی در سطح E_2 قرار داشته باشند یک موج الکترو مغناطیسی که فرکانس آن ν باشد قادر است انتقال $E_2 \rightarrow E_1$ را در بسیاری از اتمها ایجاد نماید، بدین معنی که یک فوتون اولیه ممکن است باعث ایجاد یک بهمن فوتونهای ثانویه گردد بنحوی که کلیه آنها در یک حالت نظیر فوتون تحریک کننده اولیه می‌باشند. بنابر این یک فوتون می‌تواند باعث تابش یک رشته موج که طول آن متناسب با تعداد فوتونهایست گردد.

انتشار بدون اختیار

یک اتم که در تراز انرژی E_2 قرار دارد، تمایل به تجزیه و انتقال بدون اختیار به سطح انرژی E_1 دارد، در این انتقال بدون هیچگونه تحریک یک فوتون ساطع می‌گردد. فوتون ساطع شده در چنین انتشاری $(E_2 \rightarrow E_1)$ دارای انرژی $E_2 - E_1 = E_{\epsilon}$ است، در حالیکه مشخصات

دیگر آن از قبیل مسیر، ممان، پلاریزاسیون اختیاری است. احتمال نشر یک چنین فوتون بدون اختیار با کمیت‌های انتقال محاسبه‌می گردد و بشکل

$$W_{sp} = A \quad 1-14$$

تعریف می‌شود.

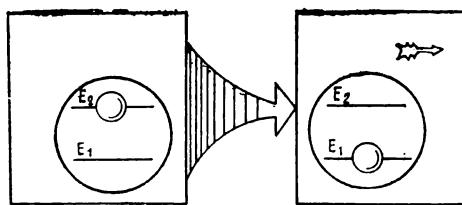
ضرائب A و B که در این عبارات وارد می‌گردد. بمنظور تعیین احتمالات نشر و جذب است و موسوم به ضرائب ایشتن می‌باشند. حائز اهمیت است که توجه کنیم برای یک انتقال معین این ضرائب از هرگونه شرایط خارجی نظیر درجه حرارت، فشار نیرو و فلوئی تابشی مستقل می‌باشند.

لذا دو نوع نور گسیل بوسیله اتمها امکان پذیر است، یکی در اثر تحریک یا نشر تحریکی، دیگری نشر بدون اختیار (خود به خود). نشر تحریکی می‌تواند بعنوان یک پدیده قابل کنترل مورد مطالعه قرار گیرد زیرا بوسیله تحریک فوتون اولیه که نه تنها عامل انتقال است، بلکه در مشخصات فوتون جدید نیز تأثیر دارد.

در پدیده دوم که بطور اتفاقی در طبیعت صورت می‌گیرد، لحظه اتفاق، مسیر فوتون ساطع شده، پلاریزاسیون، کلیه این کمیات اتفاقی است. واضح‌تر بگوئیم، یک عامل اتفاق در مراحل نشر تحریکی وجود دارد که ممکن است باعث انتقال گردد. بهمین دلیل است که ما همیشه در باره احتمال انتقال صحبت می‌نماییم. باید توجه داشته باشیم که پدیده‌های اتفاقی در جهان ذرات بنیادی بطور گستردگی وجود دارد. کافی است اشاره‌ای به رادیو اکتیویته هسته‌های اتمی و انتقالات خود بخودی ذرات اولیه داشته باشیم. با وجود قبول اصل

طبیعت اتفاقی ، معذالک کلیه این پدیده‌ها دارای دلیل مربوط به خود (نظیر پدیده‌های طبیعی) می‌باشند.

در اینجا عوامل ایجاد کننده پدیده اتفاقی را مورد بحث قرار نمی‌دهیم ، لیکن می‌بایستی توجه داشته باشیم هر ذره ریزی با محیط واکنش نشان می‌دهد . این واکنش خاص می‌باشد و نمی‌تواند بواسیله نیروهای معمولی واکنشی کاهش پیدا کند .



$$I = h\nu Nv$$

شکل ۷-۱ انتشار بدون اختیار

محیط فعال

ایجاد جمعیت وارونه

ماده فعال - قلب دستگاه لیزر را برخی از مواد جامد یا مایع یا گازی موسوم به مواد فعال تشکیل می‌دهند که حاوی اتمها و ملکولهایی

هستند و قادر به تجزیه از حالت انرژی بالا بطريق تابش، می باشند. این اتمها (یونها یا ملکولها) موسوم به مراکز فعال می باشند. این مراکز جزو کوچکی از کلیه اتمها و ملکولهای محیط فعال را در بر می گیرند. هر سانتیمتر مکعب ماده گازی حاوی تعداد 1×10^{17} تا 1×10^{19} می باشند. ما تنها آن میزان از مراکز فعال را در نظر می گیریم که جهت تابش اهمیت دارند.

بالاتر از همه دو تراز را در نظر می گیریم که انتقالات بین آنها ایجاد تابش نماید. به این انتقالات اصطلاحاً انتقالات تابش لیزری می گویند. همچنانکه در گذشته گفته شد یکی از این ترازها موسوم به تراز بالا و دیگری تراز پائین است. اگر فرض کنیم $E_1 - E_{12} = \epsilon_{12}$ اختلاف انرژی این سطوح باشد. لذا $\epsilon_{12}/h = n_1 - n_2$ فرکانس انتقال است که همان فرکانس تابش نور گسیل است. n_1 و n_2 را تعداد مراکز فعال (در واحد حجم) در نظر می گیریم که به ترتیب در سطوح بالا و پائین قرار دارند. این کمیات بعنوان جمعیت این سطوح شناخته می شوند.

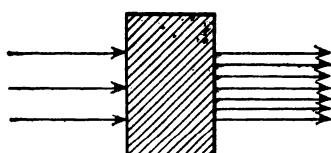
تفویت نور در یک محیط فعال وارونه

همانطور که می دانیم یک فوتون با انرژی ϵ_{12} می تواند با یک احتمال مساوی ایجاد انتقال $E_2 \rightarrow E_1$ یا $E_1 \rightarrow E_2$ بنماید. انتقال بستگی به سطوح انرژی دارد که در آن مراکز فعال قرار دارند. اگر

تراز پائین دارای جمعیتی بیش از تراز بالا باشد . جذب اتفاق می افتد . بالعکس چنانچه تراز بالا دارای تجمع بیشتری نسبت به تراز پائین باشد انتشار نور تحریک شده ، خواهیم داشت . تحت شرایط عادی بالاخص در تعادل تermo دینامیکی جمعیت سطوح انرژی با بالا رفتن سطوح انرژی کم می شود ، بنابر این معمولاً $n_2 > n_1$ و پدیده جذب نور نمایان می گردد . برای ایجاد تابش ما نیاز به ایجاد نشر تحریک شده نور خواهیم داشت . نتیجتاً می بایستی جمعیت بالاتری در سطوح بالا داشته باشیم و در اینصورت می بایستی شرط زیر برقرار باشد .

۱-۱۵

هنگامیکه این شرط برقرار باشد اصطلاحاً می گویند جمعیت وارونه در محیط ایجاد گردیده . فرض کنیم چنین محیط فعالی آماده گردد . حال این محیط را تحت تابش نور با فرکانس ν با درخشندگی I قرار می دهیم . (شکل ۱-۸) در اینجا می بایستی توجه بیشتری نسبت به مفهوم درخشندگی داشته باشیم . درخشندگی انرژی شعاع نوری است که در واحد زمان به واحد سطح برخورد نماید . ابعاد این کمیت بصورت $S^{-1} m^{-2} J$ می باشد .



شکل ۱-۸ شعاع نور ممکن است در اثر عبور از محیط فعال تقویت شود

اگر ما چگالی میدان نور را با p نشان دهیم (انرژی در واحد حجم) درخشندگی را می توان بصورت ρv ارائه نمود . که در اینجا v سرعت نور در یک محیط ماده است . در گذشته کمیت N را که تعداد فوتونها در واحد حجم است معرفی نمودیم . لذا مشخص است که $P = \epsilon N = hvN$ نتیجتاً خواهیم داشت :

$$I = hvnv \quad 1-16$$

باید توجه داشت که کلیه کمیت های I و p و N جهت فرکانس معین تابش الکترو مغناطیسی در نظر گرفته شده . در اینجا فرض کنیم این فرکانس معادل فرکانس انتقال لیزر $\nu_{12} = \frac{(E_2 - E_1)}{h}$ باشد ... یک موج الکترو مغناطیسی که دارای فرکانس اتمی است با یک ماده فعال که دارای جمعیت وارونه است برخورد می نماید می تواند تقویت شود . زیرا پدیده انتشار بر پدیده جذب برتری دارد . بهتر بگوئیم فوتونهایی که شعاع تابش را تقویت می نمایند دارای همان حالات فوتونهای اولیه تابشی هستند .

اگر P انرژی نور تولید شده بوسیله ماده فعال با فرکانس ν_{12} در واحد حجم و در واحد زمان باشند که دانسیته قدرت نور است .

$$P = (n_2 - n_1) \cdot BN h^2 v_{12}^2 \quad 1-17$$

برای اثبات این رابطه باد آور می گردد $n_2 WST - n_1 wab \rightarrow E_2 - E_1$ انتقال تحریریکی انتقالی دارای نشر یا جذب یک فوتون با انرژی $h\nu_{12}$ است .

بنابر این

$$p = (n_2 W_{st} - n_1 W_{ab}) h v_{12}$$

با در نظر گرفتن روابط ۱-۱۲ و ۱-۱۳ ما بـه نتیجه ۱-۱۷ می‌رسیم .

با ملاحظه رابطه ۱-۱۶ ممکن است ما مجدداً رابطه (۱-۱۷) را جهت تشکیل رابطه زیر محاسبه نمائیم .

$$P = (B h v_{12} / v) (n_2 - n_1) I \quad (1-18)$$

$$\text{کمیت} \quad \delta_{12} = B h v_{12} / v \quad (1-19)$$

موسوم به مقطع نور انتشار یافته است و نمایانگر نسبت احتمال رویداد Nv به تابش $B N h v_{12}$ (فلوی فوتونهای تابش) که این رویداد را القا می‌کند) می‌باشد ، لذا می‌توان نوشت .

$$p = \sigma_{12} (n_2 - n_1) I \quad (1-20)$$

روشهای ایجاد جمعیت وارونه

برای ایجاد یک جمعیت وارونه می‌بایستی دقت کنیم تا سطح انرژی بالاتر را با شدت زیاد پر جمعیت‌تر از سطح انرژی پائین بنماییم . یا روشی را اتخاذ کنیم تا سطح پائین در مقایسه با سطح بالا کم جمعیت‌تر گردد . هر لحظه می‌بایستی هدف این باشد که تراز بالاتر ماده پر جمعیت‌تر باشد .

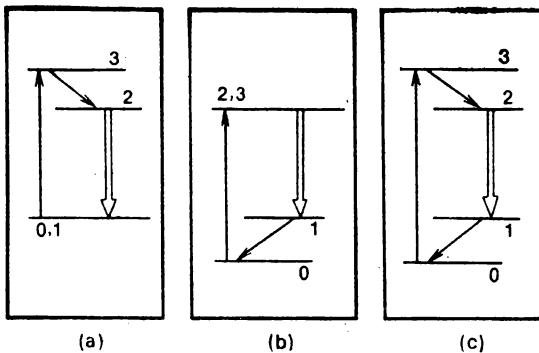
روش‌های فیزیکی مختلفی جهت افزایش یا کاهش جمعیت سطوح انرژی وجود دارد . بهمین دلیل وسائل مختلفی جهت ایجاد محیط فعال که موسوم به پمپاژ است وجود دارد . در پمپاژ نوری افزایش جمعیت در سطوح بالا بوسیله انرژی نوری از منابع مناسب نظیر تخلیه گازی در لوله فلاش یا مفتول‌های قابل احتراق ممتد کسب می‌گردد . پمپاژ

الکتریکی که بوسیله تخلیه شدید الکتریکی در محیط انجام می‌گردد، برای محیط گازی مناسب است. تخلیه گاز را به پلاسما تبدیل و مراکز فعال در داخل پلاسما با برخورد غیراستیکی که با الکترنهای آزاد پیدا می‌کنند ایجاد جمعیت عمدہ‌ای در سطح بالای پمپاژ می‌نمایند. برخوردهای غیراستیک مراکز فعال با اتمها و ملکولهای دیگر در داخل گاز صورت می‌گیرد از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند، زیرا باعث تبادل انرژی رزونانس می‌گردند، پمپاژ شیمیائی مراکز فعال محیط را در اثر واکنش شیمیائی گرمaza به سطوح بالاتری هدایت می‌کند. از روش‌های دیگر پمپاژ می‌توان پمپاژ حرارتی را که در آن مواد فعال ابتدا به درجه حرارت بالاتر رفته و سپس به سرعت سرد می‌شوند، نام برد. برای اطلاع بیشتر انتخاب روش‌های مناسب جهت پمپاژ محیط‌های مختلف در فصل دوم مورد بحث قرار خواهد گرفت.

طرح‌های اصولی پمپاژ

اتمها، یونها، یا ملکولهایی که بعنوان مراکز فعال بکار گرفته می‌شوند اغلب دارای سیستم نسبتاً پیچیده سطوح انرژی می‌باشند. گرچه کلیه این حالات را می‌توان خلاصه نمود و بصورت چندین منحنی که نشان دهنده مراحل پمپاژ است نشان داد. منحنی‌ها شامل سه یا چهار تراز انرژی است (شکل ۹-۱) برای نشان دادن این منحنی‌ها از واژه‌های زیر استفاده می‌شود:

- (۱) سطح زمینه‌ای - (۲) سطح پائین تر تابش کننده لیزری -
- (۳) سطح بالاتر تابش کننده لیزری -



شکل ۹-۱ - نمودار ساده سطوح تابش‌کننده لیزری (انتقالات لیزری در گلیه نمودارها از تراز دوم به اول می‌باشد)

فلش‌هاییکه بطرف بسالا هستند نمایانگر انتقالات پمپاژ است و فلش‌هاییکه بطرف پائین می‌باشند انتقالات لیزری و فلش‌هاییکه مورب می‌باشند انتقالات سریع کمکی می‌باشند . در اینجا نمود سه ترازی شکل ۹-۱ را در نظرمی گیریم . ذرات فعال بوسیله پمپاژ نوری برانگیخته و از سطح زمینه‌ای به تراز سوم پمپاژ انتقال پیدا می‌کند . حال فرض کنید در بیش از نیمی از ذرات فعال این انتقال صورت پذیرد ، سپس

یک تنزل سریع (در حدود^۱ - ۱ ثانیه) از تراز سوم به تراز تابش کننده لیزری (تراز دوم) صورت پذیرد.

این یک انتقال بدون تابش است که انرژی خود را به شبکه بلور می‌دهد (در صورتیکه ماده جامد باشد). اتمهای تنزل یافته در عرض^۲ - ۱۰ تا^۳ - ۱۰ ثانیه در تراز دوم قرار می‌گیرند و بدلیل اینکه مراکز فعال در این سطح از تراز زمینه‌ای بیشتر می‌باشند، جمعیت وارونه در ماده صورت می‌گیرد. در طرح لیزرهای سه ترازی که در این شکل نشان داده شده است تراز زمینه‌ای بطور همزمان تراز پائین تابش لیزر است و بنابراین با علامت (○) و (۱) نشان داده می‌شوند.

این تقسیم بندی دارای معایبی است زیرا سطوح تابش تراز پائین می‌باشند کم جمعیت یا بهتر بگوئیم خالی شوند. در تکمیل بحث یادآور می‌گردد در اصل نمی‌توان دوسطح تابشی را بعنوان سطوح تابشی لیزر بکار برد. دریک نمود لیزری از یکسو تابش پمپاژی سطح زمینه‌ای را بالا برده واز سوی دیگر موجب انتقال از سطوح بالا به سطح زمینه‌ای می‌گردد. بعبارت دیگر پمپاژ می‌باشندی جمعیت شدن و خالی شدن تراز بالاتر شده و از آنجا که سطح زمینه‌ای معمولاً پر جمعیت تراز سطوح بالاست این امید وجود دارد که در پمپاژها سیستمی بددست آید که دارای جمعیت سطوح مساوی باشند.

نوسان لیزر در محفظه مشدد نوری

از نشر خود بخود تا نوسان لیزرسی

هنگامیکه شاعع نور به محیط فعالی تابیده شود می‌تواند در اثر نشر اجباری در صورتیکه چنین محیطی وارونه شود، تقویت گردد. این موضوع اساس ایده تقویت کننده نوری کوانتمی است. حال اجازه دهید نگاهی به لیزر داشته باشیم. بمنظور درک بهتر نحوه شروع نوسان لیزر، باز می‌گردیم به پدیده نشر خود بخود. در لیزر نقش فوتونهای اولیه که باعث تحریک و نشر فوتونهای جدید می‌گردند، بوسیله فوتونهایی که بصورت خود بخود از مواد ساطع می‌گردند، ایفا می‌گردد. هر فوتون ایجاد شده بدون اختیار می‌تواند موج تعداد زیادی از انتقالات اجباری گردد. که در نهایت می‌تواند ایجاد بهمنی از فوتونهای ثانویه که حالات مشابهی نظیر فوتون اولیه را دارد، نمایسد. چنین فوتونهای اختیاری بوسیله مراکز فعال و مستقل در جهات مختلف ساطع می‌شوند. بنابر این بهمن نوری ثانویه آنها

نیز در جهات مختلف حرکت می‌نماید. بعبارت دیگر گستردگی این فوتونها موجب پراکندگی بهمنهای تولید شده می‌گردد. کاملاً مشهود است تابشی که حاوی چنین بهمنهای فوتونی می‌گردد دارای مشخصات همدوسی بالا نمی‌باشد. برای رسیدن به یک تابش همدوس می‌بایستی گستردگی بالا تا حدودی باریک گردد. یکی از روش‌های موجود محدود کردن تعداد حالات فوتونی ممکنه است، که می‌بایستی درانتخاب آنها دقیق نمود. فرض کنید برای برخی از حالات فوتونی شرایط مناسبی جهت ایجاد تابش اجباری وجود داشته باشد، در حالیکه برای سایر حالات فوتونی چنین شرایطی وجود نداشته باشد. فوتونهای ساطع شده خود بخودی، در این حالات انتخابی موجب افزایش تعداد فوتونهای ثانویه مواد فعال می‌گردد. فوتونهای ساطع شده در سایر حالات بدون اینکه در شار فوتونهای ثانویه شرکت نمایند بسرعت محو می‌گردند. این شار فوتونهای ثانویه در حالات انتخابی تابش، مورد نیاز لیزر می‌باشد، هر قدر تعداد حالات فوتونی کمتر باشد، انتخاب دقیق تر بوده و نتیجتاً درجه همدوسی چنین دستگاه تابش کننده لیزری بالاتر می‌باشد. اگر بتوان فقط یک حالت را انتخاب نمود، لیزز یک نور ایده‌آل همدوس ساطع خواهد نمود یعنی یک موج تکرزنگ باقطبیت معین.

محفظه تشدید نور

انتخاب برخی از حالات فوتونی و حذف سایر حالات فوتونی

را می‌توان بوسیله مشدد نوری که قسمت اصلی هر لیزر است، عملی ساخت. بعبارت ساده محفظه تشید نوری منشکل از یک جفت آینه مستقر در امتداد یک محور نوری (معین کننده مسیر اشعه لیزر) می‌باشد. ماده فعال در بین آینه‌ها قرار دارد. مواد فعال جامد اغلب بشکل استوانه‌ای است که محور آن در امتداد مشدد نوری قرار دارد. طول استوانه در حدود ده برابر قطر آن می‌باشد. حداقل یکی از آینه‌های محفظه تشید از آینه نیم شفاف ساخته شده تا نقش عنصر خروجی را که نور از آن عبور می‌کند بهمهده داشته باشد شکل ۱-۱. طرح یک تشید کننده ساده را با مواد فعال درون آن نشان می‌دهد. فوتونهای غیر اختیاری که در امتداد محور ۰۰۰ یا کاملاً نزدیک با آن تولید می‌گردند در داخل مواد فعال حرکت می‌کنند و مسیر آنها در اثر انکسار مکرر طولانی می‌گردد.

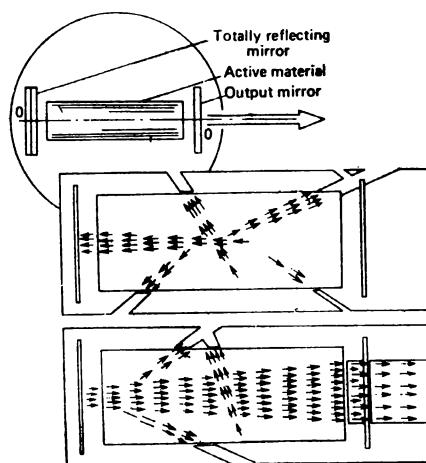
این فوتونها با مراکز فعال واکنش نشان داده و سریعاً بهمن قوی انتشار تحریک شده (اشعه لیزر) را ایجاد می‌نماید.

فوتونهای ساطع شده در مسیرهای دیگر (و بهمن نوری حاصله از آنها) راه نسبتاً کوتاهی را در مواد طی نموده و بزودی محو می‌گردند. این مراحل بطور واضح در شکل ۱-۱ نشان داده شده چنین محفظه نوری حالات فوتونی مورد نیاز را با محدود کردن مسیر انتشار تدارک می‌بیند. در نتیجه فعالیت لیزر در این جهت صورت می‌گیرد.

محفظه تشید کننده می‌تواند باعث تدارک سایر مشخصات تابش نیز گردد. انتخاب انرژی فوتونی با انتخاب مراکز فعال با سیستم مناسب سطوح انرژی، تضمین می‌گردد. البته یک سیستم واقعی سطوح

انرژی بسیار پیچیده‌تر از طرح ارائه شده در شکل ۱-۹ می‌باشد. مراکز فعال واقعی بجای یک جابجایی لیزری دارای چندین انتقال لیزری می‌باشد. برای خروج انتقالات غیرضروری محفظه تشید می‌تواند حاوی آینه‌هایی باشد که انكسار آنها عمل انتخاب فرکانس را انجام می‌دهد لذا انتقالات غیر ضروری از محیط خارج و انتخاب لازم صورت پذیر می‌گردد.

محفظه تشید نقش کلیدی را ایفامی کند: محفظه تشید در احوال نشر القائی اجباری را بوسیله فوتونهای خود بخودی در محیط فعال هدایت می‌نماید بنابر این تابش نوری با مشخصات همدوسي بالا بدست می‌آيد. بعداً گفته خواهد شد که تشید کننده نه تنها تابش را از نظر همدوسي بلکه از نقطه نظر ساختمان میدان نوری منظم می‌سازد. این بدان معنی است که تشید کننده نقش تابش لیزر را بعهده دارد.



شکل ۱-۱۰ - طرح یک تشید کننده ساده با تعیین نحوه تشید

فاکتور کیفیت

در اینجا توجه می‌کنیم به برخی از مشخصات محفظه تشدید نوری که یکی از مهمترین آنها فاکتور کیفیت (Q) است. در اینجا $U(t)$ انرژی میدان تابش (در طول موج تابش لیزر) در داخل محفظه در زمان t در نظر گرفته می‌شود.

فرض کنیم ذرات فعال موجود در مواد بی‌اثر باشند یا فرض ناپدیدشوند. در اینحال چنین مشددی غیرفعال می‌گردد. این انرژی در اثر مرور زمان بعلت تلف شدگی‌های مختلف داخل مشدد روبه زوال می‌رود.

ΔU تنزل انرژی در محدوده زمانی $t + \Delta t$ است و متناسب است با مدت زمان Δt و انرژی در زمان t لذا:

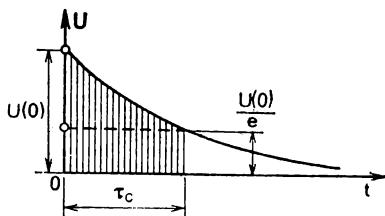
$$U = -U(t)\Delta t/tc \quad (1-21)$$

علامت منفی مؤید اینستکه U بتدريج کم می‌شود و $< U$ است. اين معادله را می‌توان جهت نشان دادن قانون تنزل انرژی با زمان استفاده نمود.

$$U(t) = U(0)e^{-t/tc} \quad 1-22$$

پارامتر $1/tc$ تعیین کننده میزان اتلاف انرژی میدان در محفظه مشدد غیرفعال است. شکل ۱-۱۱ نشان دهنده این قانون است و نشان می‌دهد در طول زمان tc انرژی او لیه e برابر تقاضا بوده، $e=2/71828$ (معادل مبنی سیستم لگاریتم طبیعی است) کمیت $Q=2\pi v tc$ مسدد است و بمنظور نشان

دادن توانائی محفظه جهت ذخیره انرژی بکار گرفته می‌شود. هر قدر سرعت تقلیل انرژی تابش کمتر باشد هدر رفت مشدد کمتر و میزان t_C کمتر و نتیجاً میزان فاکتور Q بیشتر می‌شود.



۱-۱- فساد میدان تابش در داخل مشدد غیر فعال

هدر رفت داخل محفظه

در یک محفظه مشدد غیر فعال، درخشندگی شعاع نور بتدریج در اثر عبور نور داخل محفظه و یا در اثر اصابت به سطوح جانبی افت پیدا می‌کند. کاهش درخشندگی شعاع نور از یک قانون اکسپوننسیل تعیین می‌کند.

$$I(Z) = I(0)e^{-\alpha Z} \quad (1-24)$$

در اینجا شعاع نور در امتداد مسیر Z منطبق با محور محفظه حرکت می‌نماید و α فاکتور کاهش است. رابطه بین α و t_C را می‌توان بطور ساده‌ای بیان نمود. در مدت زمان t_C فلوج نور فاصله αt_C را تحت پوشش قرار می‌دهد. چنانچه به رابطه ۱-۲۲ توجه کنیم

در می‌یابیم انرژی میدان در داخل محفظه e برابر در این محدوده زمانی افت می‌کند. طبیعی است فرض کنیم فلوی تابش نیز e برابر کاهش پیدا می‌کند. بموجب رابطه ۱-۲۴ کاهش در طول $\frac{1}{\alpha}$ بهمان میزان خواهد بود نتیجتاً.

$$tc v = \frac{1}{\alpha} \quad (1-25)$$

حال با جانشین کردن رابطه (۱-۱) و (۱-۲۳) در معادله خواهیم داشت.

$$\frac{1}{Q} = \lambda \alpha / 2\pi \quad 1-26$$

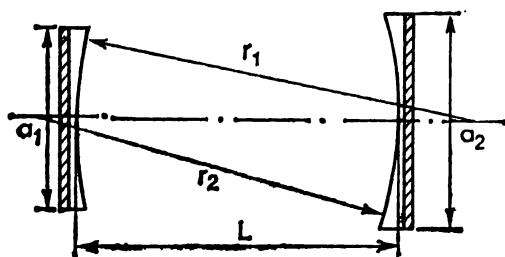
چنانچه این کاهشها مستقل از یکدیگر باشند تغییرات حاصله در میدان انرژی در داخل محفظه بصورت مجموع اجزای کاهش یافته میباشد.

$$\Delta u = \sum \Delta U_i$$

با توجه به رابطه ۱-۲۱ و $\frac{1}{tc} = \sum 1/tci$ خواهیم داشت. با موجب رابطه ۱-۲۵ و ۱-۲۶ خواهیم داشت.

$$\alpha = \sum \alpha_i \quad 1-28$$

$$\frac{1}{Q} = \sum \frac{1}{Qi}$$



۱-۱۲ محفظه مشد متشکل از دو آینه کروی با انحنای و درجه مختلف

کاهش درخشندگی

مقداری از انرژی میدان محفظه را از طریق آینه خروجی بصورت تابش لیزری ترک می‌کند. برای لیزر بعنوان یک منبع تابش این اشعه بصورت یک کاهش درخشندگی تلقی می‌گردد. این کاهش ممکن است در عبارت ۱-۲۸ بحساب آید. فاکتور کاهش بشکل زیر است.

$$\alpha_{\text{rad}} = \ln(1/R) / 2L \quad ۱-۲۹$$

کاهش انکسار

این کاهش یکی از کاهش‌های مهم است و بخاطر وجود دریچه‌های آینه مشدد ایجاد می‌گردد و نظیر سایر اجزاء دارای میزان محدودی است. هنگامیکه باریکه نور به آینه‌ای که دارای سوراخ محدودی است می‌تابد در حاشیه آینه منكسر شده که این پدیده باعث نقصان مقداری از شار (فلو) می‌گردد.

هنگامیکه قطر آینه (α) کم می‌شود و کاهش انکسار طول موج و طول مشدد افزایش می‌یابد. بمنظور اینکه مشدد تلفات زاشی انکسار کمی در طول موج λ داشته باشد می‌بایستی رابطه زیر برقرار باشد.

$$\alpha^2 / 4\lambda L > > 1 \quad (1-30)$$

پارامتر سمت‌چپ موسوم به پارامتر فرنل است.

$$NF = \alpha^2 / 4\lambda L \quad 1-31$$

این رقم تنها مقیاسی ذیست که در تخمین میزان هدر رفت انکسار بکار می‌رود. سایر ویژگی‌های یک مشدد نیز می‌بایستی مورد توجه قرار گیرد. این ویژگی‌ها با توجه به طول مشدد و قطر انحنای آینه محاسبه می‌گردند. در لیزرها معمولاً آینه‌های دارای انحنای بکار گرفته می‌شوند تا آینه‌های تخت. بنابراین این امکان وجود دارد، دو مشدد با عده‌فرنل مشابه دارای دو هدر رفت انکساری مختلف باشند. شکل ۱-۱۲ مشددی را نشان می‌دهد که از دو آینه مختلف کروی ساخته شده. فرض کنید آینه‌ها دارای دو دریچه مختلف (a_1 و a_2) و دو شعاع انحنای (R_1 و R_2) باشند چنین مشددی بوسیله سه پارامتر اصلی تعریف می‌گردد:

$$1-32 \quad NF = a_1 a_2 / 4\lambda L$$

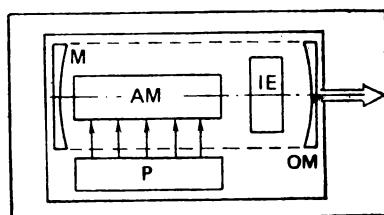
$$G_1 = (a_1/a_2) (1-L/R_1)$$

$$G_2 = (\alpha_2 \alpha_1) (1-L/R_2)$$

دو مشدد هنگامی دارای هدر رفت انکساری مشابه می‌باشند که از نقطه نظر این پارامترها یکسان باشند. چنین مشددهای موسوم به مشددهای معادل می‌باشند.

مشخصات اصلی لیزر

این قسمت مربوط به برخی از مشخصات مهم و اساسی جهت شناخت نحوه کار لیزر است. اجزاء اصلی لیزر نمودار شکل ۱-۱۳ نشان داده شده. از این به بعد جهت سهولت عمل فرض کنیم لیزر بطور ممتد کار می‌کند.



شکل ۱-۱۳ اجزاء اصلی لیزر—AM مواد فعال سیستم پمپ M آینه کاملاً منعکس کننده—OM آینه خروجی EI عنابر اضافی داخل محفظه

ضریب افزایش

یک فلوی نور را در نظر بگیرید که در امتداد محور Z در یک محیط فعال حرکت می‌کند. یک لایه از ماده که دارای ضخامت ΔZ است در نقطه Z مستقر است فلوئی با تابش $I(Z)$ را دریافت و فلوئی شدیدتر باشد $I + \Delta I$ را ساطع می‌نماید (شکل ۱-۱۴) این افزایش فلو مناسب است با تابش اولیه $I(Z)$ و ضخامت لایه تقویتی

$$\Delta I = \beta I(Z) \Delta Z \quad 1-33$$

ضریب β موسوم به ضریب افزایش است و دارای ابعادی با طول معکوس است بعارت دیگر افزایش فلوی تابش بر سطح مقطع معال است با نیروی حاصله در $S \Delta Z$. لذا

$$\Delta I_s = P(Z) S \Delta Z \quad (1-34)$$

در اینجا P نشان دهنده نیروی تولید شده در واحد حجم ماده است. با مقایسه معادلات ۱-۳۳ و ۱-۳۴ نتیجه می‌گیریم.

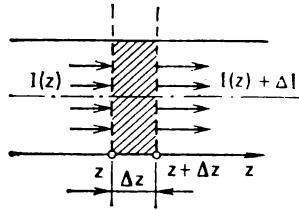
$$P(Z) = \beta I(Z) \quad 1-35$$

و بالاخره از مقایسه ۱-۲۵ با ۱-۲۰ رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\beta = \delta_{12} (n_2 - n_1) \quad 1-36$$

باید توجه داشت رابطه یاد شده مستقل از مختصات فضائی Z می‌باشد. و $I_s = P_s \Delta Z$ سطوح انتقال تابش لیزر در نظر گرفته شده.

نکته قابل اهمیت اینستکه اختلاف $n_2 - n_1$ ثابت نیست. با افزایش I انتقال از E_1 به E_2 و بالعکس صورت پذیرفته و جمعیت این سطوح بتدریج متعادل می‌گردد لذا $n_2 - n_1$ کاهش یافته و I افزایش می‌باید فرض کنید. $= I$ و جمعیت سطوح تابشی $n_{2,0}$ و $n_{1,0}$ باشد بنابراین



شکل ۱-۱۴ تقویت تابش در لیزر با ریک مواد

می‌توان نوشت $n_2 - n_1 = \frac{n_{20} - n_{10}}{1 + (x/v)I}$ در اینجا x پارامتر وضعیت غیرخطی و v سرعت نور در محیط است. با توجه باینکه $\beta_{12}(n_{20} - n_{10}) = \delta_{10}$ ضریب اولیه افزایش محسوب می‌گردد. رابطه ۱-۳۶ با توجه به رابطه ۱-۳۷ چنین محاسبه می‌گردد.

$$(1-38) \quad \beta = \frac{\beta^*}{1 + (X/v)I(z)}$$

توجه: بمنظور جلوگیری از هرگونه اشتباهی می‌بایستی تاکید داشت تسایزی بین جذب تابش حاصله در اثر انتقالات لیزری مراکز فعال و جذب بواسیله سایر اتمها و ملکولهای داخل محفظه که تابش گفته شده لیزری نیستند. وجود داشته باشد.

اعتقاد بر اینستکه اوین جذب همواره با تابش اجباری است و بحساب سیگمال جزئی β (ضریب اولیه افزایش) گذاشته می‌شود. جذب دوم به کاهش ضریب کاهش مرتبط می‌گردد. برای مواد فعال

معکوس (با کاهش غیر صفر) می‌باشد رابطه ۱-۳۳ جایگزین رابطه $\Delta I = (\beta - \alpha)I(Z)$ گردد. این عبارت تا حدودی نشان دهنده این واقعیت است که می‌باشد دو شرط جهت محیط وارونه بمنظور تقویت علائم نوری برقرار باشد.

ابتدا می‌باشد انتشار اجباری حاکم بر جذب انتقالات تابش لیزری باشد. لذا $\beta > \alpha$

ثانیاً ضریب افزایش می‌باشد بزرگتر از میزان کاهش باشد

$$\beta > \alpha$$

برای اینکه کاهش‌ها در نظر گرفته شود می‌باشد چگالی قدرت کاهش $P(z)$ نشان داده شود رابطه ۱-۳۴ مطرح می‌گردد.

$$\Delta I = [P(z) - P_i(z)]\Delta z \quad (1-40)$$

با توجه باینکه $p_i(z) = aI$ لذا

از مقایسه رابطه ۱-۳۹ و ۱-۴۱ همان نتیجه ۱-۳۵ حاصل می‌شود:

قدرت خروجی شرط لازم جهت تابش لیزری

برای بیان چگالی قدرت P می‌توان Z را بین روابط ۱-۳۵ و ۱-۳۸ از طرفین ضریب افزایش لیزر حذف نمود.

$$P(z) = v/x(\beta_0 - \beta) \quad (1-42)$$

اگر v یک حجم ماده فعال که مورد تابش قرار می‌گیرد باشد

قدرت نور حاصله از این حجم را می‌توان با توجه به رابطه ۱-۴۲ بصورت زیر نوشت.

$$P^1 = v / X V (\beta_0 - \beta_{av}) \quad 1-43$$

در اینجا β_{av} میانگین افزایش بر حسب واحد طول است که در طول مواد فعال اندازه گیری می‌شود. میزان متوسط ضریب افزایش می‌بایستی معادل ضریب کاهش باشد.

$$\beta_{av} = \alpha + \alpha_{out} \quad 1-44$$

باید توجه داشت در اینجا کاهش را بر اساس خروجی مفید جدا نموده ایم، چنانچه β_{av} را در رابطه ۱-۴۳ جایگزین کنیم خواهیم داشت

$$P = v / x V [B_0 (\alpha + \alpha_{out})] \quad 1-45$$

کاملا مشهود است که تمام قدرت نوری تولید شده در مواد فعال مشدد را از طریق آینه خروجی ترک نمی‌کند، مقداری از فوتونهای ایجاد شده بدون تابش مفقود می‌گردند و فقط مقدار $(\alpha + \alpha_{out}) / (\alpha + \alpha_{out})$ از قدرت مشدد بصورت اشعه لیزر را ترک می‌نمایند بعبارت دیگر

$$P_{out} = P^1 \alpha_{out} / (\alpha + \alpha_{out}) \quad 1-46$$

با جایگزینی P^1 از رابطه ۱-۴۵ رابطه زیر که قدرت خروجی مفید است بدست می‌آید.

$$P_{out} = \frac{v}{x} V [\beta_0 - (\alpha + \alpha_{out})] \frac{\alpha_{out}}{\alpha + \alpha_{out}} \quad 1-47$$

یکی از شرایط لازم جهت نوسان لیزری را می‌توان باسانی از رابطه ایکه قبل ایجاد بصریت $\beta_0 > \alpha + \alpha_{out}$ ۱-۴۸

بیان داشت. مجدداً متذکر می‌گردد برای ایجاد نوسازنات لیزری افزایش اولیه می‌بایستی بیش از مجموع کاهش‌ها در محفظه گردد.

مناسب‌ترین میزان ضریب کاهش دما

کاهش‌های تابش یک لیزر را می‌توان با انتخاب مناسب R در خروجی آینه کنترل نمود (۱-۲۹). اگر بخواهیم کاهش را کم نموده و شرایط بهتری جهت کار لیزر بدست آوریم می‌توانیم میزان α_{out} را با افزایش R پائین آوریم. فاکتور کیفیت مشدד در اینصورت بهتر خواهد شد. لیکن شرط عبور جهت تابش با مانع روبرو خواهد شد.

این امر موجب کاهش توان خروجی لیزر خواهد شد بعبارت دیگر اگر ما سعی کنیم α_{out} را بهنگامیکه R پائین است بهتر کنیم این امر بعلت بالا رفتن کاهش موجب جلوگیری از افزایش میزان تولید می‌گردد. اگر چنانچه بخواهیم بشکل ریاضی عنوان کنیم پائین آمدن α_{out} میزان p را در رابطه ۱-۴۶ افزایش می‌دهد لیکن موجب کاهش $(\alpha + \alpha_{out}) / \alpha_{out}$ وبالعکس می‌گردد. از اینجا نتیجه گرفته می‌شود که می‌بایستی میزان مناسبی برای ضریب کاهش‌های تابش α_{out}^{op} وجود داشته باشد. که در اینحالت قدرت خروجی ماکرزموم می‌باشد.

مفهومی تغییرات P_{out} نسبت به α_{out} که ب Mogib رابطه ۱-۴۷ در شکل ۱-۱۵ مشخص گردیده همانطور که در شکل دیده می شود.

$$\alpha_{out}^{op} = \sqrt{\beta_0 \alpha - \alpha} \quad 1-49$$

به حد اکثر خود می رسد.

$$1-50 \quad \dot{P}_{out}^{\max} = (V/X) V(\sqrt{\beta_0} - \sqrt{\alpha})^2$$

حال ما می توانیم با توجه به رابطه ۱-۲۹ با داشتن رابطه ۱-۴۹ انعکاس مناسبی جهت آینه خروجی بدست آوریم .

$$R_{op} = e^{-2L(\sqrt{\beta_0} - \alpha)} \quad 1-51$$

فصل دوم

انواع لیزر

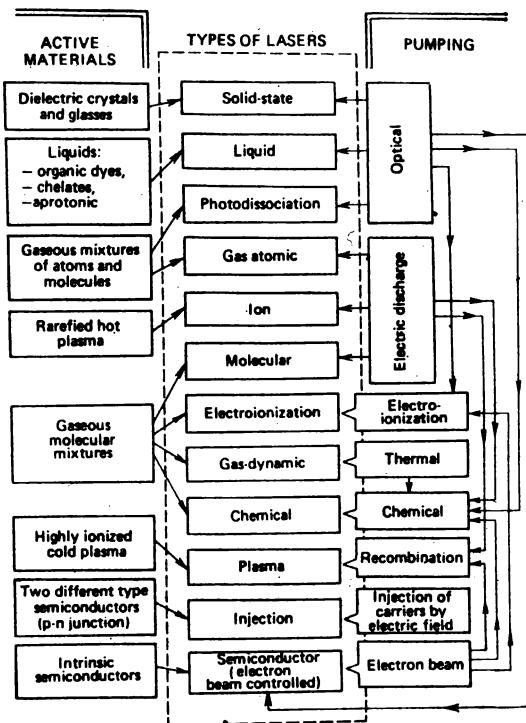
۲-۱ تشریح لیزر و روش‌های پمپاژ

جدول شکل ۲-۱ نشان دهنده انواع لیزرهای رایج و مواد فعال و روش‌های پمپاژی باشد. لیزرهای معمولاً با توجه به مواد فعال و وسائلی که جهت بر انگیختن آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد، دسته بندی می‌گرددند در این فصل مشخصات فیزیکی مواد فعال و روش‌های پمپاژی که ایجاد اشعه لیزر را می‌نمایند، مورد بحث قرار می‌گیرد. هم چنین بحثی در مورد وابستگی بین تکنیک‌های مختلف پمپاژ که در شکل ۲-۱ نشان داده شده خواهیم داشت. این امکان نیز وجود دارد که در اولین نگاه مسئله بسیار پیچیده بنظر آید، لیکن تو صیه مینمائیم که پس از مطالعه این فصل با دید و سمعتی به این شکل توجه نمائید. در میان

روش های پمپاژیکه در شکل دیده می شود دو روش از نتایج برتری برخوردار می باشند. یکی از دور و ش پمپاژ نوری و دیگری پمپاژ الکتریکی است. پمپاژ نوری فراگیر ندہ ترین روشهاست. این روش جهت تحریک انواع مواد فعال شامل کریستالهای دی الکتریک، شیشه ها، مواد نیمه هادی مایعات و مخلوط گازها بکار گرفته می شود. پمپاژ الکتریکی بوسیله تخلیه شار الکتریکی که دارای شدت کافی است صورت میگیرد. این پمپاژ جهت مواد فعال گازی تحت فشار ۱۰ میلیمتر جیو مناسب می باشد.

لیزر هاییکه بموجب انتقالات اتمی، یونی یا ملکولی کار میکنند بندرت تحت نام لیزر های تخلیه گازی معرفی می گردند. این لیزر ها همانند لیزر های جامد، مایع و نیمه هادی موقعیت مناسبی جهت بکار گیری در زمینه های مختلف علوم و مهندسی دارند.

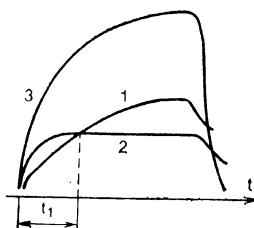
پمپاژ ممکن است بصورت ممتد و یا منقطع صورت پذیرد بهمین دلیل در پمپاژ نوری از لامپ های ساطع کننده ممتد استفاده می شود. در پمپاژ الکتریکی تخلیه ممکن است بصورت ضربه ای یا نیمه ممتد باشد.



شکل ۱-۳- دسته بندی لیزرهای نوحوه پمپاژ و مواد فعال آنها

پمپاژ ضربه‌ای انرژی را بصورت بخش‌های انرژی تامین می‌کند، در حالیکه در پمپاژ ممتد انرژی بصورت ممتد تامین می‌گردد. پمپاژ ضربه‌ای دارای مزایای متعدد نسبت به پمپاژ ممتد است. هنگامیکه جمعیت وارونه فقط برای مدت کوتاهی ایجاد می‌گردد، ممکن است نیاز شدیدی به کاهش سریع جمعیت در سطوح لیزری پائین‌تر نباشد. فرض کنید در ایجاد یک ضربه پمپاژ جمعیت سطوح بالای

لیزر نسبت به سطوح پائین فروزنی باشد. این امکان نیز وجود دارد که جمعیت وارونه در ابتدای ضربه تحریکی ایجاد گردد. این حالت در شکل ۲-۲ نشان داده شده، همانطوری که در شکل دیده می‌شود. وارونگی جمعیت در لحظه‌ای در شروع ضربه ایجاد می‌گردد.



شکل ۲-۲- ایجاد جمعیت وارونه بین لایه‌های ۱ و ۳ در افزایش زمانی ۱ در تک ضربه پمپ (۳)

کاملا مشهود است که حدی که در آن تراز پائین کم جمعیت می‌گردد ناچیز است. این نمونه روشن می‌سازد که چرا پمپاژ ضربه‌ای امکان نوسان را در تعداد زیادتری از مواد فعال و تعداد زیادتری از انتقالات را در محیط در مقایسه با پمپاژ ممتد ایجاد می‌کند. یکی دیگر از مزایای پمپاژ ضربه‌ای سهولت بکارگیری ابزار آلات در این روش است. از نظره نظر فنی ایجاد یک پمپاژ ممتد بسیار مشکل تر از پمپاژ ضربه‌ای است. بعلاوه نیازی به سرد کردن اجباری در پمپاژ ضربه‌ای وجود ندارد. پمپاژ ضربه‌ای از این لحاظ مناسب است که این امکان را بوجود می‌آورد تا نوسانات ضربه‌ای مختلف لیزر بشکل پالس‌های منفرد یا زنجیره‌ای قابل حصول باشند.

این وضعیت باعث می‌گردد تا در غلظت زمانی و فضائی ضربه‌های

تابشی در حد گیگاوات در پیکو ثانیه ایجاد گردد. برای مثال امکان ایجاد ضربه‌های کوتاه تا 10^{-12} وات در عرض 10^{-11} تا 10^{-10} ثانیه ایجاد گردد.

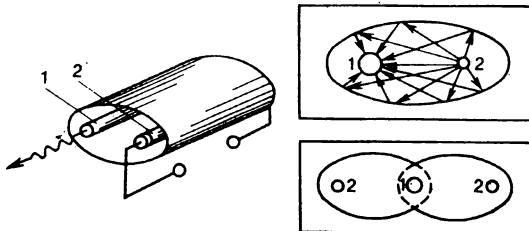
لیزرهای جامد

لیزرهای جامد از مواد فعالی نظیر بلورهای دی الکتریک یا شیشه همراه با مقداری یونهای ناخالص تشکیل شده‌اند. نگهداری این لیزرهای ساده و دارای بیشترین تولید میباشدند. در این لیزرهای فقط از پمپاژ نوری جهت برانگیختن استفاده میشود.

پمپاژ نوری-پمپاژ نوری باعث برانگیختن مرآکز فعال (در اثر جذب نور) می‌گردد. منابع مورد استفاده جهت برانگیختن ممکن است فلاش‌های تخلیه نور یا الامپهای ممتدنور یا چراغ برق یا شکافهای جرقه‌ای یا شعله باشند: این امکان نیز وجود دارد که از یک لیزر کمکی بعنوان منبع پمپاژ استفاده شود. دو شرط جهت پمپاژ نوری لازم است. اولاً سطح پمپاژ مرآکز فعال می‌بایستی باندازه کافی گسترش باشد. بعبارت دیگر خط جذبی انتقال پ-مپ می‌بایستی دارای پهناهی باند نسبتاً وسیعی باشد. ثانیاً حداکثر این جذب می‌بایستی در بالاترین قسمت تابش طیف منبع پمپاژ باشد، تا قبل از برقراری این شرایط میزان قدرت منبع بی‌نهایت کوچک خواهد بود.

لیزرهای جامد شرایط فوق را دارا می‌باشند. مواد فعال دارای پهناهی باند یکدهم میکرومتر بوده و منابع پمپاژ موجود دارای طیف تابشی مناسبی می‌باشند که می‌توان آنها را جهت تحریک مرآکز فعال بکار گرفت:

در اغلب موارد مواد فعال جامد حاوی مقداری ناخالص در مقرونه لیزرها بلوری یا شیشه‌ای می‌باشند. آنها می‌بلور عمالاً در فعالیت لیزر دخالتی ندارند و بعضاً ان یک شبکه نگهدارنده ذرات ناخالص که در حقیقت هر اکثر فعال هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند اما روزه در حدود ۳۰۰ بلوردی الکتریک توان با مواد فعال ناخالصی یونی در تولید اشعه لیزر مورد استفاده قرار می‌گیرند. بلورهای اکسید آلومینیوم با ساختمان منظم بیشتر از همه مورد استفاده قرار می‌گیرند. این بلورهای شامل اکسید آلومینیوم ویژه‌ای موسوم به کروندیوم توان با یون سه ظرفیتی کرم (Cr^3+) و بلور $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ می‌باشد که موسوم به YAG می‌باشد، به این نام مخفف yt tri um Aluminum Grant مقداری یونهای ایتریوم Y^3+ می‌باشند که جایگزین یونهای کرومیوم در کروندیوم و آنرا تبدیل به یاقوت می‌نماید. این اولین بلوری بود که در لیزرها موسوم به لیزر یاقوتی مورد استفاده قرار گرفت در صورتی که یون دوم Nd^3+ در لیزرها نشوریم (Nd-YAG) بکار برده شد. این لیزرها معروف به لیزرها جامد می‌باشند. شکل ۳-۲ نشان دهنده چگونگی عملکرد پمپاژ نوری در لیزرها حامد است.



شکل ۳-۳ - عملکرد پمپاژ نور ۱ در لیزرها جامد.

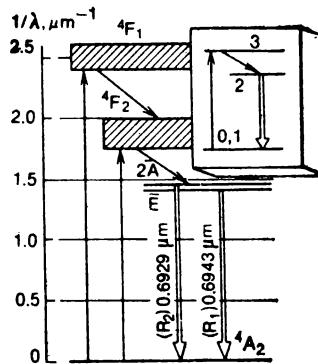
منبع پمپاژ یا بهتر بگوئیم لامپ تخلیه بصورت استوانه ایست که بموازات میله ماده فعال قرار دارد در این لیزر ازویزگی های تمرکزی یک استوانه بیضوی شکل استفاده شده. میله یاقوت و لامپ تخلیه در داخل استوانه بیضوی شکل منعکس کننده مستقر میباشند. بنحوی که میله یاقوتی دریکی از کانونها و لامپ در کانون دیگر مستقر میباشند، نوری که از لامپ ساطع میگردد پس از اصابت به سطح منعکس کننده نقره ای دیواره استوانه از کانون دیگر عبور می نماید. درنتیجه تابش پمپ بطور کامل بر روی ماده فعال متتمرکز میگردد. مشخصات هندسی محفظه پمپاژ با توجه به کاربرد ویژه آن تغییر می نماید.

برای مثال دو یا چهار سطح بیضوی منعکس کننده در محفظه پمپ بکار برده می شود بنحوی که میله در کانون مشترک آنها قرار دارد. این شکل هندسی محفظه قدرت خروجی لیزر را تشدید مینماید. مقاطع انتهائی میله نیز صیقلی میگردند تا بدینوسیله نقش آینه های تشدید کننده را به عهده داشته باشند. لذا در این لیزرهای طول محفظه تشدید طول میله میباشد.

لیزر یاقوتی: لیزر یاقوتی اولین لیزری است که ساخته شده و بخارتر قدرت مکانیکی زیاد و هدایت حرارتی بلور یاقوت که می تواند تاحد زیادی افزایش یابد، امروزه در سطح گسترهای مورداستفاده قرار میگیرد.

یاقوت که از صدھا سال بیش بعنوان یک سنگ قیمتی طبیعی شناخته شده است، متشکل از بلور اکسید آلومینیوم AL_2O_3 (کرون دوم) است که در آن مقداری از یونهای آلومینیوم AL^{+3} جایگزین یونهای

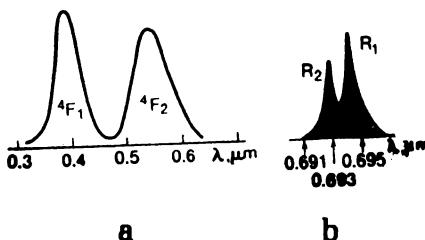
کروم^۳ CR گردیده‌اند. میله‌های لیزر معمولاً از یاقوت میخکی رنگ ک است که حاوی ۵٪ / درصد کرومیوم ($10^{19} \times 116$) یون کرومیوم در یک سانتی‌متر مکعب میباشد. این یونها نقش مراکز فعال را در بلورهای یاقوت بعده دارند.



شکل ۴-۳- ترازهای انرژی یون کرومیوم و انتقالات در یاقوت

شکل ۴-۲ نشان دهنده سطوح یون کرومیوم در یاقوت است، محور عمودی نشان دهنده انرژی بر حسب فرکانس فضائی (عکس طول موج) است. برای تبدیل هر واحد انرژی معمولی میباشد آنرا در hc (با توجه باینک، $E = hc/\lambda$) ضرب نمود. پمپاژ الکتریکی یک الکترن را دو یون کرومیوم به تراز بالاتر ($2F_2 - 4F_1$) منتقل مینماید. ارتفاع خط میزان در شکل نشان دهنده گستردگی سطح مربوطه می‌باشد، این سطوح تحریک شده مقداری از انرژی را به نوسانات حرارتی شبکه بلور یاقوت میدهد و نسبتاً سریع از سطوح $4F_2 - 4F_1$ به دو سطح مجاور که دارای عمری نسبتاً طولانی میباشند و با علامت A^{\pm} و E نشان داده میشوند افت پیدا میکند.

تراز پائین $4A_2$ سطح زمینه‌ای برای این سیستم می‌باشد. بنابر این لیزر یاقوتی در ردیف لیزرهای سه ترازی (۲-۹a) قرار دارد.



شکل ۲-۵- طیف جذب (a) و فلور سانس (b) یون کرومیوم در لیزر یاقوتی طیف جذبی یون کرومیوم در یک بلور یاقوت در شکل ۵ نشان داده شده این طیف دارای دو ماکزیموم برای انتقال $4F_2 \rightarrow 4F_1$ و $4F_2 \rightarrow 4F_1$ در طول موج $\lambda^1 = 0.41\mu m$ (باند جذبی آبی) و $\lambda^2 = 0.55\mu m$ (باند جذبی زرد - سبز) می‌باشد. هریک از باندها دارای پهنای در حدود $0.1\mu m$ می‌باشند.

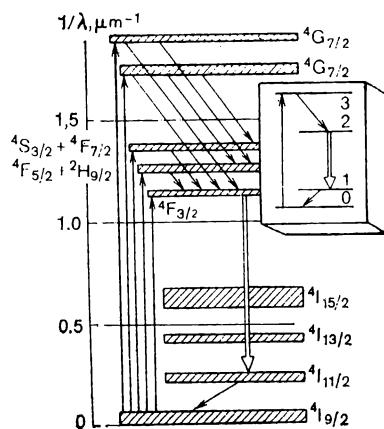
پمپاز نوری این لیزر بوسیله تخلیه لامپ گزنون صورت می‌گیرد، طیف نشر آنی ساطع شده بوسیله یونهای کرومیوم (طیف فلور سانس یون کرومیوم در یاقوت) در شکل b/۵ نشان داده شده. این طیف شامل دو باند است یکی در طول موج $0.6943\mu m$ (موسوم به خط R_1) دیگری طول موج $0.6929\mu m$ (خط R_2) فعالیت لیزر بطور عملی در طول موج خط R_1 صورت می‌گیرد.

توجه: در طیف سنجی اتمی فهرست تشخیص وضعیت اتمها یونها و ملکولها وجود دارد. در این کتاب بحثی در باره فهرست مذکور وجود ندارد، و فقط خوانندگان با علائمی نظیر $4F_2 \rightarrow 4F_1$ و

بعنوان برخی از سطوح اتمی آشنا می‌شوند. در فصل ۲-۵ بحث یافته‌تری در این مورد خواهیم داشت.

Nd:YAG لیزر

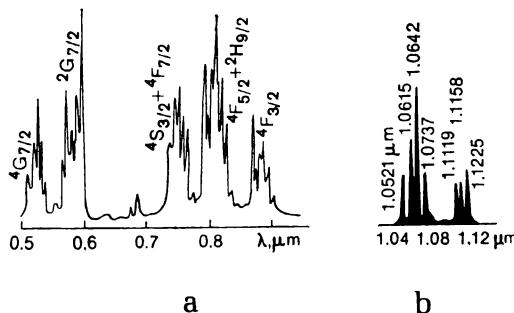
لیزر لعل نئودیمیوم. ایتریوم آلومینیوم معروف ترین نوع لیزر جامد است این لیزردارای آستانه تحریک نسبتاً پائین و هدایت حرارتی بالا می‌باشد. بنا بر این جهت تولید تپه‌های نوری با تکرار بالا و یا کار ممتد (موسوم به موج ممتد یا کارممتد) مناسب و سودمند می‌باشد. راندمان این لیزر بطور نسبی بالاست. ترازهای اتمی یونهای نئودیمیوم در بلوار AG-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۶ نمودار سطوح انرژی یون نئودیمیوم در لیزر Nd:YAG

در حقیقت شکل نشان دهنده باندهای انرژی با پهنهای مختلف است. هر یک از این باندها حاوی گروهی از ترازهای انرژی است که هر یک با عبارات اتمی خود مشخص می‌گردد پمپاژنوری باعث می‌گردد اتمهای Nd به ترازهای بالاتر از مینهای منتقل گردد، این حالات با عبارات $4S_{3/2}$ و $4G_{7/2}$ و $4F_{5/2}$ و $4F_{3/2}$ و $4F_{7/2}$ و $4H_{9/2}$ و $4F_{5/2} + 2H_{9/2}$ و $4S_{3/2} + 2F_{7/2}$ مشخص می‌گردند این پنج گروه موجود پنج باند در طیف جذبی $\text{Nd}: \text{YAG}$ است که در

شکل ۲-۷ a

شکل ۲-۷a - جذب b فلورسان $4F_{3/2} \rightarrow 4I_11/2$ مر بوط به طیف لیزر

نشان داده شده. باندها جهت مشخص نمودن ساختمان ظریف است و نشان دهنده این حقیقت است که باندهای انرژی حاوی سطوح انحصاری می‌باشند. تراز بالاتر لیزر حالت $4F_{3/2}$ می‌باشد. تابش لیزر هنگامی بوقوع می‌پیوندد که یونهای نجودیمیوم از این تراز تجزیه و به

حالت $4I_{1/2}$ و $4I_{3/2}$ بر میگردند از آنجا که هر یک از این عبارات همراه با تعدادی سطوح انرژیست لذا تعداد کلی انتقالات لیزری به بیش از بیست میرسد . قسمت اعظم انرژی در انتقال $4I_{11/2} \rightarrow 4F_{3/2}$ منتشر میگردد (در حدود ۶۰ درصد) بنابراین حالت $4I_{11/2}$ بعنوان تراز پائین در نظر گرفته می شود شکل ۲-۷b نشان دهنده طیف فلورسانس Nd:yAG در انتقالات $4I_{11/2} \rightarrow 4F_{3/2}$ می باشد.

طیف حاوی هفت خط است ، شدید ترین خطوط در $1/0.642 \mu m$ و $1/0.615 \mu m$ علاوه بر این انتقالات چندین خط در خروجی لیزربرروی طول موجهای $4I_{13/2} \rightarrow 4F_{3/2}$ (نوسان $1/3 \mu m$) $\rightarrow 4I_{9/2}$ می دارد (طول موج $0.9 \mu m$) وجود دارد . همانطور که در شکل ۲-۶ بوضوح دیده میشود اغلب انتقالات تراز های لیزر Nd:yAG منطبق است با چهار تراز لیزر شکل ۱-۹C در لیزرها ممتد با قدرت زیاد لیزر بوسیله لامپ های کریپتون تحریک می گردد . در حال حاضر بلورهای شبکه La₂O₃ با یونهای کرومیوم با انصمام Nd⁺ ممزوج شده اند و لذا لامپ های گزنوں را می توان جهت پمپاژ مورد استفاده قرار داد . یونهای کروم در yAG دارای دو جذب نسبتاً وسیع باندهای $0.43 \mu m$ و $0.59 \mu m$ از درون طیف لامپ گزنوں می باشند . یونهای کرومیوم تحریک شده ، انرژی تحریک خود را به یونهای ثیودیمیوم منتقل نموده و خروجی را تقویت می نمایند .

لیزرهای شیشه‌ای

در این لیزرهای مواد فعال شیشه همراه با یونهای عناصر نادر موجود بر روی زمین بالاخص نئودیمیوم می‌باشند. این لیزرهای نظری لیزرهای Nd:yAG دارای چهار تراز می‌باشند. لیزر شیشه‌ای نئودیمیوم در طول موج $\lambda = 1064\text{nm}$ کار می‌کند و دستگاه نسبتاً مناسبی می‌باشد. جهت ساخت اینگونه لیزرهای از انواع مختلف شیشه استفاده می‌شود، شیشه‌های بورات که دارای اکسیدبورون و شیشه‌ای سربی که دارای اکسیدسرب و شیشه‌ای فسفات که حاوی اکسیدهای فسفر هستند و شیشه‌های سیلیکا از انواع شیشه‌هایی هستند که در لیزر بکاربرده می‌شوند مواد شیشه‌ای که جهت تهیه میله‌های شیشه‌ای بلند بطول بیش از یک سانتی‌متر بکاربرده می‌شوند بسیار ارزان می‌باشند و از نقطه نظر نوری همگن و جهت افزایش مواد فعال با غلظت زیاد مناسب می‌باشند. اشکال بزرگ شیشه‌ها در پائین بودن هدایت حرارتی آنهاست، بنابراین لیزرهای شیشه‌ای ممکن است فقط بصورت ضربه‌ای با تکرار ضربه نسبتاً پائین کار کنند.

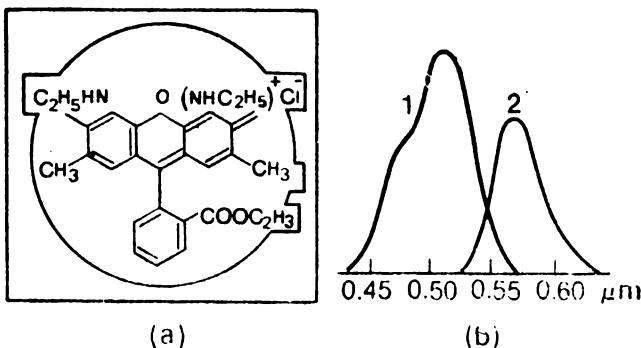
لیزرهای مواد رنگی

لیزرهای مایع که باین نام مشهورند باین دلیل است که مواد فعال آنها یا محلول مایع مواد آلی رنگی است یا مایعاتی است که بطرز خاصی با مواد نادر موجود بر روی زمین نظیر یوروپیوم Eu^{+3} یا Nd^{+3}

ممروج گردیده‌اند. این مایعات مخصوص ممکن است بدون صورت باشند. یا بصورت چیلات (Organometallic) یا بصورت محلول‌های غیر آلی (Aprototic) این لیزرها بوسیله نور بر انگیخته می‌گردند. مواد رنگی آلی بعنوان مواد فعال: اکثر لیزرها را مایع را لیزرها می‌باشد. مواد آلی رنگی تشكیل می‌دهند مواد فعال این لیزرها یک محلول رنگی آلی است که دارای محلول‌های فعالی نظیر آب، اتانول-متانول، تولوئن، بنزن، استن، وغیره می‌باشند. مواد آلی رنگی ترکیبات پیچیده آلی هستند که دارای طیف جذبی گستره‌ای در منطقه مرئی، ماوراء بمنفذ می‌باشند. ساختمان شیمیائی ملکولهای رنگی بطور نمونه دارای مقداری بنزن، پیریدین، آزین و سایر حلقه‌های متصل به یکدیگر در یک صفحه می‌باشند. مؤثرترین مواد رنگی تابش کننده لیزری در هشت گروه زیر طبقه‌بندی گردیده‌اند.

گزانین‌ها، پلی‌متین‌ها، اکسازین‌ها، کومارین‌ها، آنترانسن‌ها آکریدین‌ها، آزین‌ها وقتالوزیانین‌ها. امروزه لیزرها از بیش از ۲۰۰ نوع مواد رنگی بدست آمده‌اند. محدوده لیزری که تحت پوشش مواد رنگی مختلف‌اند دارای طول موج‌های بین $0.3 / 1.3 \mu\text{m}$ می‌باشند. با انتخاب یک ماده رنگی مناسب می‌توان تابش همدوس در طول موجی در محدوده یاد شده بدست آورد.

رودانین G6 (Rhodamine 6G) یکی از مواد رنگی در گروه گزانین است که بطور عملی دارای اهمیت است، شکل ۲/۸a فرمول ساختمانی آنرا که براساس حلقه‌های بنزنی است نشان می‌دهد.

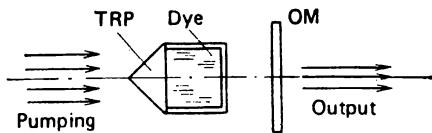


شکل ۲-۸ (a) فرمول ساخته‌مانی روdamین ۶g و طیف جذب و نشر آن که در شکل b با ۱ و ۲ نشان داده شده

مواد رنگی گزانتین تا بش پمپاژ را جذب نموده و در طول موج مرئی تا بش می‌کنند. شکل ۲-۸b نشان‌دهنده طیف جذبی و نشر رودامین می‌باشد. همانند لیزرهای جامد پهنانی باند جذبی آن در حدود μm از برای این ماده رنگی است باند نشری این ماده رنگی دارای همین پهنانی خط است که در حدود ده تا یک‌صد برابر پهن تراز پهنانی نشر دوپانت‌ها (Dopants) در لیزرهای جامدات. این پهن بودن خط نشری یکی از مزایای جالب ملکولهای آلی است که بعنوان مراکز بکار گرفته می‌شوند.

پمپاز لیزرهای مواد رنگی آلی

در تحریک لیزرهای مواد رنگی آلی از لیزرهای کمکی و منابع نوری لامپی استفاده می‌شود. در پمپاز لیزر، تابش پمپ در فرکانس لیزر پمپ کننده یا در فرکانسی در حدود سه برابر یا بیشتر است. در حالت دوم از هارمونیک دوم یا سوم لیزر کمکی جهت تحریک استفاده می‌شود. در اکثر موارد لیزر کمکی که جهت پمپاز استفاده می‌شود لیزر نشود! می‌باید است که بصورت منقطع کار می‌کند. شعاع پمپ یا در امتداد محور یا بطور مورب وارد محفظه می‌گردد. شکل ۲-۹ ترتیبی را نشان میدهد که در آن تحریک مواد بصورت طولی انجام می‌شود.



شکل ۲-۹ نحوه پمپاز در لیزر مواد رنگی

سلول محلول رنگی مواد آلی در داخل محفظه (درجائیکه یکی از آینه‌ها جایگزین یک آینه کاملاً منعکس کننده گردیده) قرار دارد. آینه خروجی دارای قدرت انعکاس ۱۰۰٪ جهت تابش پمپ است که از طریق منشور وارد محفظه شده و مواد آلی را تحریک می‌کند. فلورسانس

ماده‌آلی از طریق خروجی آینه محفظه را ترک می‌کند. پمپاژ معمولی لیزر نیز جهت تحریک این لیزرهای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این عمل اغلب بوسیله لیزریون آرگون انجام می‌شود از آنجائیکه این پمپاژ باعث حرارت زیاد ماده رنگی می‌گردد. شعاع پمپ بطور مورب به ماده رنگی تابیده می‌شود. این شعاع دز نقطه‌ای به اقطار $1\text{ }\mu\text{m}$ ۱ بروی محلول رنگی متعرکز می‌گردد و پمپاژ می‌نماید. این شکل پمپاژ تنها بمنظور جلوگیری از افزایش حرارت نیست بلکه این عمل باعث دور شدن فرآورده‌های تجزیه فوتونی از منطقه تولید می‌گردد.

لیزرهای تجزیه‌فوتوونی

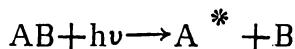
پمپاژ نوری در محیط گازی: همانطور که قبل اشاره شد بهره‌گیری از پمپاژ نوری لیزرهای مایع و جامد تحت شرایط جذب کافی به پهنانی خط حدود $1\text{ }\mu\text{m}$ / ۰ صورت می‌گیرد. در محیط‌های گازی خطوط جذبی مرکز فعال دارای پهنانی کمتری می‌باشند و هر گز از میزان $20\text{ }\mu\text{m}$ فزونی نمی‌آید.

تحریک نوری را در این حالت می‌توان انجام داد، تابش حاصله دارای خطوط باریک وحدائقی یک خط شدید منطبق باحداکثر جذب خط یک مرکز فعال می‌باشد یکی از نمونه‌های نادر لیزر بخار سزیم است، اتم‌های سزیم بوسیله یک لامپ هلیوم که طیف آن دارای یک خط باریک و شدید در طول موج $3888\text{ }\text{\AA}$ میکرومتر است تحریک می‌گردند، این

طول موج دقیقاً طول موج انتقال لیزراتوم سزیم است. پمپاژ بوسیله بازد پهن بطور محسوسی دارای راندمان کم جهت محیط‌های گازی است زیرا میزان ناچیزی از انرژی منبع پمپاژ از طریق خطوط جذبی باریک به مراکز فعال می‌رسد و میزان قابل توجهی از انرژی پمپ صرف گرم کردن گاز و سایر قسمت‌های ساختمان لیزر می‌گردد. باین دلیل پمپاژ نوری بوسیله باند گستردۀ جهت لیزرهای گازی مفید نمی‌باشد.

لیزرهای گازی تجزیه فوتونی که بواسیله باندگسترده تحریک می‌شوند.

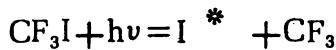
یک مورد استثناء در باره آنچه در بالا یاد شد وجود دارد و آن گازهای هستند که حاوی ملکولهای قابل تجزیه در اثر جذب نور می‌باشند. یکی از محصولات حاصله از تجزیه بصورت بر انگیخته است. (این جزء با علامت ستاره مشخص گردیده)



پدیده تجزیه ملکولی که در اثر جذب نور حاصل می‌گردد موسوم به تجزیه فوتونی می‌باشد. نتیجه غالب تجزیه فوتونی است که پهنانی خط جذبی ملکول گاز باندازه پهنانی خط جذبی در مواد جامد و مایعات میگردد. این واقعیت اجازه استفاده از پمپاژ نوری با باند وسیع را بمناسبت این جزء تحریک می‌کند. بوسیله ملکولهای تجزیه شونده جذب می‌گردد که حاصل آن جزء تحریک شده است که بمنظور تابش لیزری مورد استفاده قرار میگیرد. این نوع لیزر های گازی موسوم به لیزر های تجزیه فوتونی میباشند تا کنون دو دسته لیزر تجزیه فوتونی شناخته شده‌اند.

درینکی از آنها محصول تجزیه شده بعنوان مرکز فعال بکار گرفته میشود.
این تحریک میباشد که در مراحل اولیه فوتونی صورت گیرد.

در دسته دوم ذرات فعال را در نتیجه یک سری واکنش شیمیائی
با محصولات تجزیه، یعنی از واکنش های ثانویه بدست میآورند.
لذا این لیزر موسوم به لیزر های فتو شیمیائی میباشد. لیزرنید نمونه ای
از لیزر های فتو شیمیائی است. یک پمپاژ باند گسترده در طول موج
 $\lambda = 0.2\mu m$ ملکولهای CF₃I را تجزیه مینماید ،



امهای ید تحریک شده بصورت $\frac{1}{2}p^2$ ظاهر میگردند.

تابش لیزری هستگامی حاصل میشود که اتمها در اثر تابش به
وضعیت $\frac{3}{2}P_2$ بر میگردند. در این انتقال تابش با طول موج
 $\lambda = 11315\mu m$ حاصل میگردد. لیزر تجزیه فوتونی دارای راندمان
میباشد. راندمان بیشتر رامی توان با افزایش جذب خطوط ملکولهای
تجزیه و نیز افزایش مواد شیمیائی ثانویه واکنشی، بدست آورد.

لیزر های اتمی و بیوفی

لیزر های تخلیه گازی: این لیزرها با گازهای نادر بعنوان مواد
فعال (تحت فشارهای یک تا ده Torr) و در اثر تحریک بوسیله تخلیه
الکتریکی کارمی کنند این لیزرها به سه دسته تقسیم میگردند.
۱- لیزر های یونی که در اثر انتقال بین سطوح یونی در گازهای یونیزه تابش میکنند.
۲- لیزر های اتمی خنثی که در اثر انتقال بین سطوح انرژی اتمهای خنثی

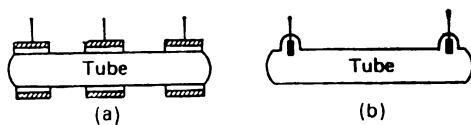
تابش مینمایند. ۳. لیزرهای ملکولی که در اثر انتقالات بین ملکولها نوسان میکنند.

تابش لیزرهای یونی اغلب در منطقه مرئی و نزدیک منطقه ماوراء بنفس امواج الکترو مغناطیسی است (طیف بین $3/\mu\text{m}$ تا $10/\mu\text{m}$).

لیزرهای اتمهای خنثی در محدوده وسیع تری از طول موج بین $10/\mu\text{m}$ تا $100/\mu\text{m}$ می نمایند. اغلب انتقالات لیزری در محدوده $1/\mu\text{m}$ تا $2/\mu\text{m}$ می باشد. در بین سه نوع لیزر یاد شده، لیزرهای ملکولی محدوده فر کانسی گسترده تری را تحت پوشش قرار میدهند: لیزرهایی که تابش آنها بین سطوح چرخشی متعلق به حالت الکترونیک وارتعاشی ملکول صورت میگیرد، در منطقه مادون قرمز از $10/\mu\text{m}$ تا $50/\mu\text{m}$ میکرومتر تابش می نمایند. هنگامیکه انتقالات تابشی لیزری مابین ترازهای ارتعاشی است (انتقالات ارتعاشی چرخشی) تابش بیشتر در محدوده بین $5/\mu\text{m}$ تا $50/\mu\text{m}$ میکرومتر در منطقه مادون قرمزا است.

لیزرهای ملکولی هم چنین میتوانند در انتقالات بین حالات الکترونیک یک ملکول نومنان کنند. در اینصورت تابش آنها در منطقه مرئی یاما و راء بنفس (تقریباً از $1/\mu\text{m}$ میکرومتر میباشد و ماده فعال نیروهای تخلیه گازی پلاسمائی است که در اثر تخلیه الکتریکی ایجاد میگردد. چنانچه زمان تحریک ضربه کوتاه تراز زمان لازم جهت ایجاد شرایط حالت ثابت در پلاسما باشد. در اینصورت تخلیه بصورت ضربه ای خواهد بود - نوع دیگر تخلیه موسوم به تخلیه ثابت (شبه ثابت) است، امکان دارد تخلیه بصورت جرقه ای (در لیزرهای یونی) یا تخلیه نور سفید (در لیزرهای اتمی و ملکولی) باشد.

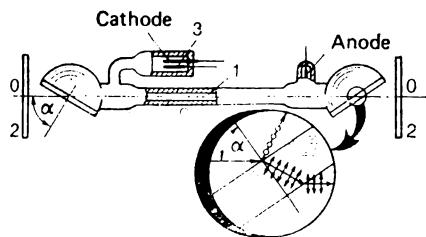
تخلیه جرقه‌ای در حرارت و جریان زیاد عمل می‌کند و درجه بالائی از یونیزاسیون پلاسمما (که با توجه به نسبت الکترنهای آزاد به غلظت ذرات سنگین در پلاسمما اندازه‌گیری می‌شود) ایجاد می‌نماید. شدت جریان در اینگونه تخلیه در حدود 100 A/cm^2 تا 1000 A/cm^2 می‌باشد. درجه تخلیه برابر $k = 1000$ درجه یونیزاسیون بالاتر از واحد است. تخلیه نورسفید در چگالی‌های جریان ضعیف از 1 A/cm^2 تا 10 A/cm^2 در درجه حرارت محیط عمل می‌کند. درجه یونیزاسیون برابر 100 می‌باشد. تخلیه ثابت را می‌توان بوسیله جریان بافر کانس زیاد ایجاد نمود. نوع اول بوسیله جریان متناوب 10 A مگاهرتز و در این حالت الکتردها در خارج از لوله قرار دارند (شکل ۱-۲). نوع دوم جریان مستقیم با الکتردهایی که در داخل لوله تعبیه شده (مطابق شکل ۲-۱b) ایجاد می‌گردد.



شکل ۱-۲- استقرار الکتردها برای (a) فر کانس بالا و (b) جریان مستقیم تحریک

لیزر ه هلیوم نئون

در این نوع لیزر مخلوطی از هلیوم و نئون بعنوان محیط فعال مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتشار نور این لیزر در اثر انتقالات سطوح اتمهای نئون (مراکر فعال) صورت می‌گیرد. هلیوم بعنوان جزئی از مخلوط گازهای دارای نقش مهمی در تحریک اتمهای نئون می‌باشد. مخلوط تحت فشار یک تور (باری $\frac{۱۳۰۳۳}{۲۲}$) = یک تور = $\frac{۱۳۰۳۳}{۲۶۰}$ قرار دارد. فشار جزء هلیوم در مخلوط بین ۵ تا ۶ برابر نئون است. تابش لیزر هلیوم نئون در اثر تابش تخلیه‌ای ثابت بوسیله یک جریان مستقیم صورت می‌گیرد.



شکل ۱۱-۲- طرح لیزر هلیوم نئون با آینه‌های بروستر - ۱- لو ۱ه تخلیه گاز -
۲- آینه مشدد - ۳- جذب گننده گازهای زیان آور

شکل ۱۱-۲ نشان دهنده لیزر هلیوم نئون با لو ۱ه تخلیه در امتداد محور مشدد است. هنگامی که اختلاف پتانسیل بین آندو کاتد در داخل لو ۱ه افزایش پیدا می‌کند و به حدود ۱۰۰۰ ولت می‌رسد یک تخلیه تابشی به قدر چند میلیمتر ایجاد می‌گردد. آینه‌های خروجی لو ۱ه نسبت به

محور لوله بطور مورب قرار دارند . خط عمودی که نسبت به آینه ها رسم می شود با محور آینه زاویه ای موسوم به زاویه بروسترمی سازد. $\text{tg}\alpha = n$ زاویه بروسترمی که با نشان داده می شود زوایه ایست که در آن n باشد. در اینجا ضریب شکست مواد شیشه ایست. در اینحالت معمولاً اشعه منعکسه از سطح نسبت به صفحه اصابت پلاریزه می باشد در حالیکه اشعه منكسره در صفحه اصابت عمدهاً پلاریزه می باشد. این وضعیت در شکل ۲-۱۱ نشان داده شده است، فلش های کوچک نشان دهنده نوسان بردار الکترونیکی در صفحه کاغذ (صفحه نوسان) است، در حالی که ذواiber نشان دهنده نوسانات در سطح عمود بر صفحه است.

قابل توجه است که در این زاویه برخورد، اشعه منكسره یک زاویه ۹۰ با اشعه منعکسه می سازد (قانون بروسترمی)

توجه: همانطور که در فصل ۱-۵ اشاره گردید مشدد نوری مسیری را در فضا انتخاب می کند که تابش لیزر عملی شود. با استقرار آینه های خروجی در زاویه بروسترنسبت به محور مشدد، پلاریزاسیون معینی برای شاعر تابش لیزر انتخاب نموده ایم . بعبارت دیگر دستگاهی را تعییه می نمائیم که فوتونهای قطعاً پلاریزه را انتخاب نماید. چنانچه یک موج نور غیر پلاریزه پس از حرکت در امتداد محور لوله لیزر به آینه بروستر لیزر اصابت نماید، این موج ممکن است ترکیبی از دو موج پلاریزه باشد که یکی در صفحه پلاریزه و دیگری در صفحه عمود بر آن. اولین موج منكسره بسوی آینه رفت و سپس شکسته شده و مجدداً صفحه را ترک و در امتداد محور مشدد حرکت می نماید. دومین موج از آینه منعکس شده و ناپدید می گردد. بنابراین فوتونهایی

که پلاریزاسیون آنها در صفحه اصبابت است انتخاب می‌گردد.
(شکل ۵-۱) در حالی که امواج عمود بر صفحه پلاریزاسیون انتخاب نمی‌گردد.

بنابراین بسادگی دیده می‌شود موج منعکسه از آینه در نوسانات لیزری تأثیری ندارد. لذا لیزر نوری را تابش می‌کند که بداخل آینه رفته یعنی نور پلاریزه‌ای که عمود به آینه باشد و محور مشدد را دربر گیرند. لذا در چهارچهار بروستر بما کمک می‌کند تا با یک تیر دو هدف را نشانه روی کنیم. اولاً نور لیزر پلاریزه بدست آوریم. ثانیاً نور منعکسه از در چهارچهار لوله را حذف کنیم

اشکال الکترنی و شرایط اتمی

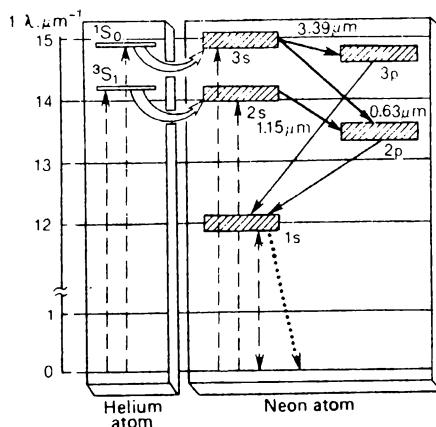
قبل از بحث در باره عوامل ایجاد کننده جمعیت وارونه در لیزرهای تخلیه گازی اشاره‌ای به مراکز فعال در محیط گازی مینمائیم. چنین مراکز فعال دارای یک گروه سطوح انرژی است که بوسیله طیف‌سنجه اتمی با توجه به علائم اتمی آنها تعریف می‌گردد. همانطور که قبل اشاره گردید این علائم نشان‌دهنده وضعیت الکترنی اتم است. هر تراز انرژی الکترنی «مکانیک کوانتم با چهار عدد کوانتمی با علائم خاص مربوطه مشخص می‌گردد. این اعداد بسیار خاص اعداد کوانتمی اصلی می‌باشند. از آنجاکه اختلاف بین انرژی در حالات کوانتمی مختلف ΔE زیاد است. ΔE یکی از اعداد اصلی می‌باشد. ما در ارتباط با میزان ممکن زاویه‌ای اریتال و از نظر

اختلاف انرژی در مقایسه با n بسیار کم است. عدد کوانتم مغناطیسی m معین کننده جزء Z ممان زاویه‌ای است (توأم با I این عدد معین کننده میزان انحراف مدار الکترونی از یک کره کامل است). S موسوم به عدد کوانتمی چرخشی است که در انرژی اتم در میدان مغناطیسی تعیین کننده است. در اتمهای چندین الکترونی هر الکtron همراه با مجموعه‌ای از اعداد کوانتمی است. عدد کوانتمی n ممکن است $1, 2, 3, \dots$. باشد: عدد کوانتمی اربیتال l ممکن است مقادیر $0, 1, 2, \dots, l-1$ را اشغال کند. به دلائل خاص تاریخچه‌ای این عدد کوانتمی معمولاً با سیله حروف S, P, D, F, G وغیره نشان داده می‌شوند. عدد کوانتمی مغناطیسی m ارقامی از 1 تا l را اشغال می‌کند. S ممکن است $\frac{1}{2}$ یا $-\frac{1}{2}$ باشد. اتمهای با میزان مساوی n و l و مقادیر مختلف m اغلب دارای انرژی کل مساوی هستند. لذا چنین حالات کوانتمی به ترازهای انرژی فاسد شدنی موسوم می‌باشند. هنگامیکه اتمهای با این حالات در میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند انرژی هر سطح فاسد شدنی به میزانی که بستگی به مقدار S دارد افزایش یا کاهش پیدا می‌کند. در غیاب میدان مغناطیسی یک عدد نشانه‌ای حاصل می‌شود. برای مثال $3P$ نشان دهنده $n=3$ و $l=1$ و $m=0$ نشان دهنده $n=2$ و $l=1$ است. هنگامیکه الکترونها در اتم زیاد باشند. ما با یک شکل ترکیب الکترونی مواجه هستیم، برای مثال $2P_5$ نشان دهنده پنج الکترون $(l=1)_{m=2} = 5$ و یک الکترون $(l=1)_{m=0} = 1$ باشد.

همانطور که میدانیم الکترون‌ها در اتم در اربیتال‌ها (پوسته‌ها) پرمیشوند لذا نزدیک ترین اربیتال به مرکز S نمی‌تواند بیش از 2 الکترون

واربیتال بعدی حاوی 18S الکترن و بعد 18P^6 الکترن و ... در خود جایگزین نمایند. اربیتال کامل $1S^2$ و $2S^2P^6$ موسوم به پوسته‌های مسدود می‌باشند. در حالیکه یک الکترن منفرد در خارج از پوسته‌های مسدود وجود داشته باشد ممکن زاویه‌ای کل اتم مساوی با ممکن اربیتال الکترن منفرد واقع در خارجی ترین قسمت اتم است. این بدان دلیل است که پوسته مسدود دارای هیچگونه حرکت خالص اربیتالی نمی‌باشد این حقیقت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. علائمی که ذکر شد (D و P و S) نشان دهنده ممکن کلی زاویه‌ای اتم (قانون تبدیل ارقام به حروف برای دراشکال الکترنی نیز یکسان است). عدد سمت چپ نشانه (نظیر ۲ در ۳/۲) نشان دهنده جهات ممکنه چرخش کلی اتم است. برای مثال اگر اتم دارای یک الکترن منفرد باشد چرخش کلی آن $\frac{1}{3}$ و دو جهت مجاز برای آن وجود دارد. لذا عدد ۲ در پیشوند سمت چپ نوشته می‌شود. عدد سمت چپ نشانه (نظیر ۲ در ۳/۲) نشان دهنده میزان کلی عدد کوانتمی ممکن زاویه‌ای (z) است.

چنانچه چندین الکترن در خارج پوسته مسدود باشد میزان z و چرخش کلی S بوسیله قوانین خاصی محاسبه می‌گردند. در لیزرهای جامد وایزرهای تخلیه گازی وضعیت مراکز فعال هر یک بوسیله باندهای انرژی متعلق به پهناهی باند خود مشخص می‌گردد. هر چند باندهای این لیزرها دارای منشاء مختلف می‌باشند. در لیزرهای حالت جامد هر باند منطبق با یک یادو گروه اتمی است (شکل ۶-۴ و ۶-۵).



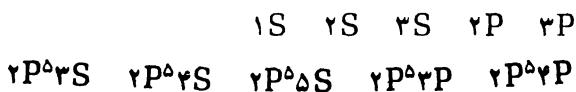
شکل ۱۲-۲- نمودار تراز انرژی در لیزر هلیوم نئون - خطوط قهقهه انتقالات نشان دهنده انتقالات تابش لیزری است.

ترازهای انرژی اختصاصی در اثر واکنش مرکز فعال با شبکه بلور بصورت یک باند انرژی گستردگی در می‌آیند در ایزر تخلیه گازی محیط فعال یک گاز ریقیق است بنحویکه مرکز فعال هیچگونه واکنشی با محیط از خود نشان نمیدهد. بنابراین هر گروه اتمی نشان دهنده یک تراز باریک انرژی است، در اینجا باند انرژی در اثر چندین حالت اتمی ظاهر می‌گردد که بوسیله علاوه همان ترکیبات الکترنی مشخص می‌گردند.

نحوه ایجاد جمعیت وارونه در لیزر هلیوم نئون

شکل ۱۲-۲ نشان دهنده انتقالات اولیه ایست که در محیط یک لیزر هلیوم نئون صورت می‌گیرد. در سمت چپ انتقالات مربوط به

هليوم و درستم راست انتقالات اتم نئون نشان داده شده ترازهای تحریک شده نئون بوسیله باندهای انرژی در جدول مشخص گردیده.



شما ممکن است با نمایش دیگری از این حالات نظیر $4P$ و $3D$ و $5S$ و $4S$ و $3S$ برخورد نماید که گویای این واقعیت است که سایر نه الکترون‌های دیگر اتم نئون در وضعیت کوانتمی زمینه‌ای قرار دارند. هر باند S حاوی چهار تراز است، در حالیکه هر باند P دارای ده تراز می‌باشد. باندهای $2P$ و $3S$ مربوط به ترازهای پائین تر می‌باشند. فعالیت لیزر در سه انتقال به شرح زیر صورت می‌گیرد $3S \rightarrow 2S \rightarrow 2P \rightarrow 1/39$ میکرومتر در طول موج $1/15$ میکرومتر و $2P \rightarrow 3S$ در طول موج $63/0$ میکرومتر (قرمز).

جمعیت وابونه در لیزر هليوم نئون بدلیل میزان جمعیت در ترازهای بالا که بطور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از ترازپائین است، اتفاق می‌افتد. الکترون‌های آزاد تخلیه گاز با اتمهای هليوم و نئون برخورد و آنها را در اثر انتقال انرژی برخوردي تحریک می‌کند. انتقالات جذبی که در اثر برخوردهای الکترونی ایجاد می‌گردد بوسیله فلاش‌های منقطع نشان داده شده.

الکترونها اتم‌های هليومی را که در وضعیت S_0 و $3S_{-1}$ هستند تعدادی از باندهای نئون را که بالاتر و یا پائین تر از سطوح تابشی لیزری هستند، تحریک می‌کنند. اتمهای هليوم تحریک شده با اتم‌های نئون

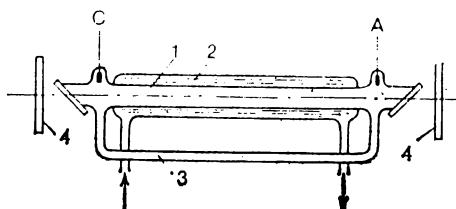
بر خورد و انرژی خود را بصورت برخورد ارتعاشی منتقل می نمایند. این مرحله بافلش قوس دار در تصویر نشان داده شده است. انتقال ارتعاشی از هلیوم به نئون بطور قطع ایجاد جمعیت زیاد در تراز بالای نئون می نماید، سه عامل در این مرحله بطور مساعدی تأثیر دارند. این عوامل عبارتند از- نزدیک بودن انرژی مربوط به سطوح هلیوم و نئون - رفتار نیمه پایدار سطوح تحریک شده هلیوم (غیرفعال شدن آنها از طریق نشر آنی نسبتاً کند است) - فشار بالای هلیوم در مخلوط گازی که باعث کم شدن احتمالی انتقال انرژی در جهت معکوس. از نئون به هلیوم را کم مینماید.

نشر آنی در خطوط $1S \rightarrow 1S$ و $3S \rightarrow 2S$ کندتر از انتقال خطوط $1S \rightarrow 1S$ و $3P \rightarrow 2P$ عمل می کند. بنابراین ترازهای تابشی پائین تر اتمهای نئون سریع تر از لایه های بالا تخلیه می شوند. تخلیه ترازهای باند $1S$ مرحله تابش لیزر هلیوم نئون است. در اثر بازگشت از حالت تحریک و بر خورد اتمی نئون با دیواره لو له حالت کند شدن ایجاد می گردد. قسمت اخیر که مربوط به دیواره لو له می شود از اهمیت ویژه ای برخوردار است زیرا هنگامیکه قطر لو له لیزر افزایش می یابد قدرت خروجی لیزر کم می شود.

لیزر آرگون

هیچیک از گازهای نادر بجز نئون جهت بکارگیری عملی بعنوان محیط مناسب جهت ایجاد اشعه لیزر بسیار مفید نمی باشند. هنگامیکه

گازهای نادر بعنوان محیط لیزر بکار گرفته می‌شوند می‌باشند در اثر برخورد الکترنی یونیزه گردند، یونهای حاصله در اثر برخوردهای بیشتر الکtron تحریک گردیده و در آنها ایجاد جمعیت وارونه می‌گردد. نمونه چنین لیزری لیزر آرگون است.

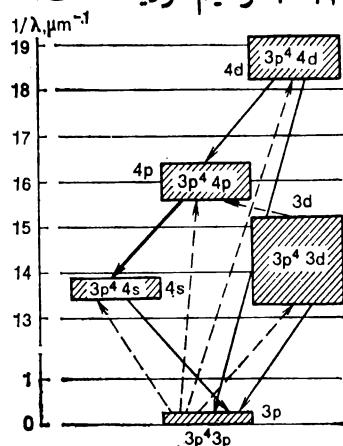


شکل ۲-۱۳ - سیستم لیزر آرگون آند کاتد ۱ - لوله تخلیه تابشی -
۲ - سیستم آب خنک ۳ مسیر برگشت ۴ آینه مشدود

طرح لوله این لیزر که در شکل ۲-۱۳ نشان داده شده بسیار پیچیده‌تر از لیزر هلیوم نئون است. در این سیستم A_{T^*} از تخلیه یک جرقه ممتد جریان مستقیم ناشی از یک جریان با چگالی زیاد تعذیب می‌گردد. این امر باعث حرارت شدید گردیده و مستلزم یک سیستم خنک کننده آبی می‌باشد.

هنگام کار کردن، جریان شدید موجب پمپاژ یونهای آرگون بسوی کاتد والکtron بسوی آند می‌گردد. بخارتر حرکت کند یونها آنها

تمایل به انباشته شدن در کاتد داشته در آنجا خنثی و به آرامی به عقب پراکنده و تخلیه می گردد: به منظور متعادل نمودن پراکندگی یک مسیر برگشت گاز بین آندو کاتد تعییه گردیده این مسیر فشار گر ادیان حاصله از پمپاژ را متعادل واز اشتعال جلوگیری بعمل می آورد. اساس انتقال یون آرگون در شکل ۲-۱۴ ترسیم گردیده است.



شکل ۲-۱۴ ترازهای انرژی مربوط به برخی از انتقالات لیزر Ar⁺ انعقادات تابش لیزری بوسیله فلش‌های ممتد نشان داده شد.

کمان‌های منقطع نشان دهنده انتقال در اثر برخورد الکترونی و خطوط ممتد علامت نشر مرئی است. مستطیل‌های هاشوردار که در شکل دیده می‌شوند پنج حالت اتمی (باندانرژی) است که هر یک حاوی ترکیبات الکترونی است. همچنانکه در مورد لیزر هیلیون نشون گفته شده این حالات را نام می‌بریم برای مثال به ترتیب ۴P^۱ ۴P^۲ ۴P^۳ ۴S باشند که تراز بالای لیزر است و وضعیت ۲P^۱ را باعلامت باند ۴S که تراز پائین است نشان داده می‌شود. باید تذکر داد که عبارت تراز بطور مشروط بکار برده می‌شود زیرا هر باند حاوی تعدادی از ترازهای انرژی یون آرگون

است. برای مثال باند $4S - 4P$ شامل ۱۵ بخش و باند $4S - 3P$ شامل ۸ بخش است. بنابراین انتقال $4S - 4P$ لیزر شامل مجموعه‌ای از خطوط طیفی است.

شدیدترین آنها خط آبی در طول موج $\lambda = 488 / ۴۸۸$ میکرومتر (۴۵ درصد خروجی) و خط سبز در طول موج $\lambda = 515 / ۵۱۵$ میکرومتر (۳۵ درصد خروجی) است. تراز بالای لیزر (باند $4P$) جمعیت خود را از چند طریق تأمین می‌کند یکی بواسیله برخورد مستقیم الکترون از انتقال $3P \rightarrow 3P$ یا بواسیله پمپاژ $3P \rightarrow 4d \rightarrow 4P$ یا تحریک قدم به قدم الکترونی $4P \rightarrow 3d$.

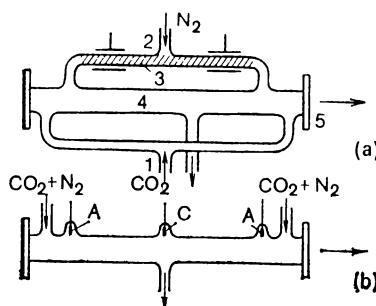
قابل توجه است که میزان شدت تحریک الکترونی برای تراز بالای لیزر نصف تراز پائین‌می گردد. جمعیت وارونه در اثر این واقعیت رخ می‌دهد که عمر تراز بالا ده برابر تراز پائین است. بنابراین فساد در تراز پائین بسرعت در اثر نشر آنی ایجاد می‌گردد.

درنتیجه جمعیت لیزر آرگون تنها در اثر پر جمعیت شدن تراز بالا (نظیر لیزر هلیوم نئون) ایجاد نمی‌گردد بلکه عمدتاً از طریق خالی کردن تراز تابش پائین صورت می‌گیرد.

لیزرهای ملکولی

لیزر CO_2 -این لیزر بدون تردید از نقطه نظر کاربردهای صنعتی در درجه اول قراردارد. این لیزر قادر است بطور ممتد قدرتی در حد ده کیلووات را باراندمان نسبتاً بالا (تا ۴۰ درصد) تولید نماید. محیط‌فعال گازی از مخلوطی از دی‌اکسید کربن و نیتروژن ملکولی و چندین گاز

نظیر هلیوم و بخار آب تشکیل شده است. مراکز فعال در اینجا ملکول‌های CO_2 می‌باشند که در اثر انتقال ترازهای ارتعاشی الکترونی بین سطوح زمینه‌ای ارتعاش می‌نمایند. ازت در لیزر CO_2 نقش هلیوم در لیزرهای گازی هلیوم‌نشون را بعده دارد. ملکولهای تحریک شده ازت انرژی را در اثر برخوردهای تشدید کننده به CO_2 منتقل می‌نماید. در لیزر CO_2 معمولاً^۱ از تخلیه تابشی جهت تحریک استفاده می‌شود.



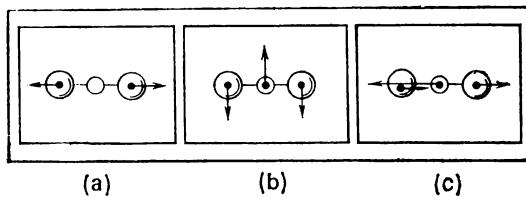
شکل ۱۵-۲ طرح دلو له تخلیه لیزر CO_2 -a با تخلیه و محفظه لیزر جداگانه:
۱- سیستم جریان CO_2 -۲- سیستم جریان N_2 -۳- دلو له رخشنده ۴- محیط عمل لیزر ۵- آینه خروجی b- تخلیه و محفظه لیزر در یک حفره-A-آند-C-کاتد

شکل ۱۵-۲ یکی از اولین طرح‌های لیزر CO_2 را نشان میدهد که در آن از تخلیه تابشی فرکانس استفاده می‌شود. سیستم دارای دو مسیر جهت پمپاژ دی اکسید کربن واخت است. ملکول‌های ازت ابتدا وارد منطقه تخلیه شده و بعد در اثر برخورد با الکtron تحریک شده و سپس وارد

محفظه لیزر می گرددند و با ملکولهای CO_2 تحریک نشده مخلوط میگرددند و در این هنگام ملکولهای ازت مقداری ازانرژی خود را به ملکولهای CO_2 منتقل می کند. یکی از خصوصیات مهم این طرح خاص اینستکه الکترنهای تخلیه فقط ملکولهای ازت را تحریک می نمایند. این انرژی بعداً به مرآکز فعال سیستم منتقل میگردد. در طرح های بعدی لیزر CO_2 مخلوطی از $\text{CO}_2 + \text{N}_2$ مورد تخلیه تابشی قرار می گیرند این طرح در تصویر b ۲-۱۵ نشان داده شده است، همانند طرح قبلی در این سیستم مخلوطی از گازها مورد پمپاژ قرار می گیرند. این پمپاژ بمنظور جلو گیری از امکان تغییرات نامطلوب در ترکیبات شیمیائی مواد فعال بالاخص واکنش $\text{CO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ صورت می گیرد . امروزه لیزرهای CO_2 قادر مخلوط گاز مورد استفاده گسترده قرار دارد . عمر چنین دستگاهی می تواند تا ۱۰۰۰ ساعت یا بیشتر باشد.

حالات ارتعاشی دی اکسید کربن

پیرو بحث های قبلی سطوح انرژی مناسب جهت انتقالات لیزری سطوح الکترونی یک اتم یا یون می باشند، ملکولهای دارای ساختمان پیچیده و ترازهای انرژی منطبق با حرکات چرخشی یا ارتعاشی کل ساختمان ملکولی می باشند. ملکول CO_2 متشکل از دو اتم اکسیژن و یک کربن بین آنها می باشد و دارای سه نوع نوسان ارتعاشی می باشد



شکل ۲-۲- حالات ارتعاشی ملکول CO_2 - a- کشش متقارن b- خمیدگی متقارن c- کشش نامتقارن

شکل ۲-۱۶- این سه ارتعاش موسوم به حالات ارتعاشی هستند. در حالت کشش متقارن اتم‌های اکسیژن در امتداد محور ملکول نوسان متقارن داشته که بطور همزمان به مرکز نزدیک و یا از آن دور می‌شوند. در ارتعاش غیر متقارن اتم‌های اکسیژن در امتداد محور ملکول حرکت مینمایند، لیکن هردو در یک جهت و درجهٔ مخالف اتم کربن. در حالت سوم که حالت خمیدگی یا پیچش نامیده می‌شود. هر سه اتم درجهٔ عصود بر محور ملکول حرکت می‌کنند. ارتعاشات ملکول در حالت متقارن و پیچش و غیر متقارن را به ترتیب علامت v_1 و v_2 و v_3 نشان می‌دهیم.

انرژی این ارتعاشات به ترتیب عبارتند از:

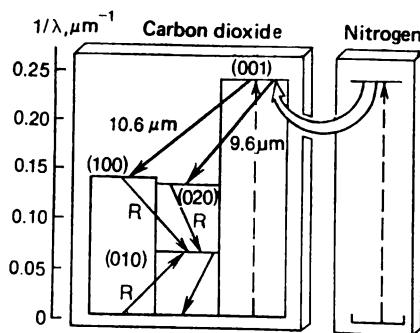
$$\text{انرژی} = \frac{1}{2} M v^2 \quad \text{و} \quad h\nu_1 = 163 \text{ eV} \quad \text{و} \quad h\nu_2 = 276 \text{ eV} \quad \text{و} \quad h\nu_3 = 287 \text{ eV}$$

تئوری کوانتم انرژی ارتعاش یک ملکول در هر یک از حالات فقط

می تواند مقادیر مطلق داشته باشد که تمامی آنها ضرائب صحیحی از مقدار بنیادی می باشند. در هر لحظه ملکول کربن می تواند ترکیبی خطی از سه حالت اصلی باشد. لذا حالت انرژی ملکول می تواند با سه عدد (Ijk) نشان داده شود. این اعداد نشانگر میزان انرژی یا مقدار کوانتای انرژی حالت مربوطه باشد. برای مثال عدد (020) نشان دهنده اینستکه اتم در این وضعیت بطور کامل در حالت خمین و قادر هر گونه انرژی مربوط به حالات متقارن و غیر متقارن است، علاوه بر حالات ارتعاشی حالات چرخشی بصورت چرخش ملکول بدور مرکز ثقل نیز امکان پذیر میباشد. انرژی مربوط به حالات چرخشی در مقایسه با حالات ارتعاشی ناچیز و به تعدادی زیر لایه های بسیار باریک تقسیم میگردند. حدفاصل بین حالات ارتعاشی، چرخشی معمولاً بسیار کوچکتر از مقدار انرژی بین حالات الکترونی است.

نحوه ایجاد جمعیت وارونه در لیزر CO_2

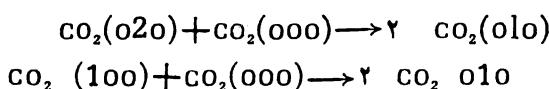
شکل ۲-۱۷ نشان دهنده پسائین ترین ترازهای ارتعاشی سطح الکtron زمینه‌ای یک ملکول CO_2 و N_2 است.



شکل ۲-۱۷ ترازهای انرژی در لیزر CO_2

در قسمت مربوط به CO_2 سطوح مطابق با حالات ارتعاشی است. تراز بالای لیزر حالت (001) و تراز پائین حالت (020) و (100) می‌باشد انتقال (100) → (001) دارای طول موجی برابر $6/\mu\text{m} = 10$ میکرومتر است،

در حالیکه انتقال $020 \rightarrow 001$ در طول موجی برابر $6/\lambda$ میکرومتر صورت میگیرد. جمعیت در حالت 001 در اثر برخورد های غیر الاستیک ملکولها CO_2 الکترون های برخوردی در پلاسمای تخلیه با ملکول های ازت تولید می شوند. حالات $020 \rightarrow 100$ در اثر انتقال انرژی به سطح زمینه ای تنزل یافته و بصورت ملکولهای CO_2 غیربرانگیخته در می آیند. بنابراین حالات یاد شده در وضعیت 010 تجمع پیدا می کنند.



انتقالات مربوطه در شکل بوسیله حرف R نشان داده شده. بمنظور تسريع در عمل انتقال به حالت زمینه ای از مواد افزودنی نظیر هلیوم و بخار آب استفاده می شود. در اثر انتقال انرژی به مواد افزودنی تراز پائین آمده و در این حالت برای رسیدن به جمعیت وارونه می بايستی تحریک الکترونی ازت و جالت 001 ملکول CO_2 باندازه کافی بالا باشد با توجه باينکه احتمال تحریک الکترونی حالت 100 و 020 و 010 می بايستی نسبتاً کم باشد اين نسبت جمعیت را می توان با تغیير نسبت P/E شدت میدان الکتریکی در تخلیه E و فشار مخلوط گاز P کنترل نمود.

لیزرهای دو اتمی تحریک شده (EXCIMER)

یکی از انواع جالب و مهم لیزرهای ملکولی لیزرهای می باشند

که حاوی انتقالات مختلف بین ترازهای الکترونی مختلف می‌باشند. در این لیزرها شعاعی از الکترون‌یک‌شتاب دهنده جهت تحریک مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجاکه فعالیت لیزری بین وضعیت‌های الکترونی ملکول‌های دو اتمی تحریک شده صورت می‌گیرد. نشر در انتهای طیف ماوراء بنفش صورت می‌گیرد. محیط‌فعال این لیزرها حاوی سیستم‌های موسوم به اتصال آزاد است. این ملکول‌های دو اتمی فقط قادرند هنگامیکه در حالت تحریک هستند به یک سیستم منفرد اتصال یابند.

هنگامی که سیستم در حالت زمینه‌ای است اجزاء این سیستم یکدیگر را تاحد فاصل معین بین اتمی دفع می‌کنند. در مورد برخی از اتمها یک تحریک یا یونیزاسیون با اندازه کافی حالت اتم را تغییر می‌دهد. لذا نیروی جاذبه‌ای که بین اتمها در گاز وجود دارد دو اتم را که در یک حدفاصل کوتاه قرار دارند به یکدیگر متصل نموده و ایجاد دو جزئی تحریک شده EXCITED STATE یا بطور خلاصه DIMER

EXCIMER می‌نماید. اتم‌های گازهای خنثی در اتصال به یکدیگر و ایجاد ملکول مقاومت می‌نمایند. آنها در واقع هنگامی می‌توانند بصورت ملکول اتصال یابند که مقداری از انرژی خود را از دست بدهند این اتصال ملکول‌ها در حقیقت بصورت تحریک شده ایجاد می‌گردد. چنانچه یکی از اتمها یا هر دو اتم گازهای نادر باشند میزان تحریک فوق العاده زیاد است، از این‌رو ملکول دو اتمی تحریک شده نیمه پایدار سیستم با ارزشی جهت ذخیره انرژی زیاد می‌باشد. امکان

ذخیره انرژی در این ملکولها آنها را جهت تابش لیزری بسیار جالب می‌نماید . تراز بالای لیزری در چنین ملکولهایی حالت برانگیخته الکترونی و تراز پائین منطبق با حالت زمینه‌ایست . جمعیت وارونه در این سیستم بممحض آنکه برخی از ملکول‌ها برانگیخته و به تراز بالاتری جهت اتصال بروند ، ایجاد می‌گردد . هنگامیکه یک ملکول به تراز پائین‌تر تنزل پیدا می‌کند بلا فاصله از این وضعیت دور می‌شود زیرا در چنین حالتی تجزیه شده و بصورت اتم در می‌آید . بنابراین تراز پائین لیزرهای برانگیخته دواتمی همیشه خالی است .

محیط فعال در یک لیزر دو اتمی تحریک شده می‌تواند یک گاز در اتمی تحریک شد . ($*Ar_2$ و $*Kr^2$ و $*Xe_2$) باشد (علامت ستاره‌نشان دهنده برانگیختگی است) یا یک اتم گاز نادردر ترکیبی با یک اتم هالوژنه (ArO_1 و KrO_1 و XeO_1) . لیزرهای دواتمی تحریک شده دارای نشر با طول موجه‌ای کوتاه می‌باشند . برای مثال طول موجه‌ای $\lambda = 125nm$ و $\lambda = 126nm$ را می‌توان نام برد .

لیزرهای الکترو-یونیزاسیون

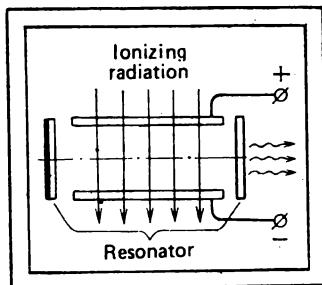
افزایش فشار در لیزر گازی : همانطور که قبلاً اشاره گردید لیزرهای گازی تحت فشار کم در محدوده بین ۱ تا ۱۰ (TOR) فعالیت می‌نمایند این فعالیت مستلزم غلظت کم مرکز فعال ($10^{-3} - 10^{-6} m^3$) می‌باشد . این غلظت از غلظت لیزرهای جامد یاما بیع که دارای غلظت

10^{-3} cm^{-3} می باشد کمتر است، افزایش فشار گاز در لیزرهای گازی معنی افزایش قدرت خروجی است. لذا تحقیقات زیادی صورت گرفته تا این دستگاهها در فشار بیشتر کار کنند، که در این راه با دو مشکل عمدۀ مواجه گردیده‌اند. یکی اینکه افزایش فشار تا دهها تور (TORR) عملات تخلیه الکتریکی را جهت تحریک مناسب حجم زیاد گاز غیر مفید می‌سازد و این بدلیل آنست که تخلیه الکتریکی ثبات خود را از دست میدهد، بدیواره لوله اصابت نموده و از قسمت مرکزی لوله دور می‌شود. دیگر اینکه برای فشار زیادتر حالت دلخواه E/Pa نیاز به شدت میدان الکتریکی بیشتری دارد. این امر منجر به دانسیته بیشتر الکترون در پلاسمای گردد که یک عامل منفی است زیرا الکترون‌های مازاد باعث افزایش برخورد های دفع کننده بالا خصوصاً باعث غیرفعال شدن ترازهای بالا و جمعیت ترازهای تابشی پائین می‌گردد.

پمپاژ الکترونیک اسیون لیزرهای گازی با فشار زیاد

این تکنیک امکان حل مشکلات یاد شده را ایجاد می‌کند. در این روش هرگز از تخلیه استفاده نمی‌گردد. در عوض این تکنیک الکترون‌های سریعی را که قادرند بطور مؤثر و افعال را (باتابش یونیز اسیون) که همراه با یک میدان الکتریکی است) تحریک کنند، ایجاد مینماید. تابش یونیز اسیون الکترون‌های آزاد را به بیرون پرتاپ و میدان الکتریکی به شتاب آنها رسیدگی می‌کند. سراحت بعدی نظیر لیزرهای تخلیه گازی است. الکترون‌های سریع برخی از مولکولهای (اتمهای) را

برانگیخته تا شرایط مطلوب جهت ایجاد جمعیت وارونه را فراهم سازد
شکل ۲-۱۸ نشان دهنده مراحل پمپاژ الکترو یونیزاسیون است برای



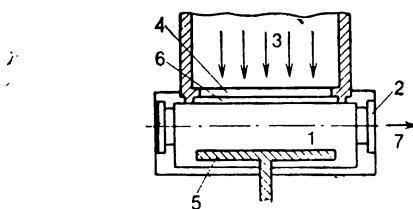
شکل ۲-۱۸ پمپاژ الکترو یونیزاسیون

ایجاد الکtron آزاد یک انرژی در حدود دهها الکtron ولت بکار گرفته میشود . این انرژی بسویله تابش یونیزه تامین میگردد الکtron تا 10^5 بر خورد را با ذرات مواد فعال تحمل میکندتا محیط را ترک کنمد. در این برخوردها الکtron در حدود 10^4 الکtron ولت انرژی را به محیط فعال منتقل می کند، این انرژی سه برابر انرژی است که جهت تولید این الکtron بکار گرفته شده. این مقدار عظیم انرژی از میدان الکتریکی خارجی بدست می آید. لذا بکار گیری این تکنیک نسبتاً موثر (تا 30 درصد) و مستقیم تبدیل انرژی الکتریکی به تابش نور همدوس می باشد. این روش جهت کنترل نسبت E/P در فشارهای بالا مناسب است . زیرا غلاظت الکtronهای آزاد در این حالت مستقل

از شدت میدان الکتریکی میباشد و به وسیله تابش یونیزاسیون کنترل میشود. در نتیجه فشارهای تا یکصد آتمسفر بدست آمده در سیستم موسوم به فشار بالای لیزر گازی میباشد.

لیزر الکترو یونیزاسیون CO_2

مکانیسم فیزیکی ایجاد جمعیت واونه در لیزرهای فشار قوی بوسیله تکنیک الکترو یونیزاسیون نظیر لیزر تخلیه گازی CO_2 شکل (۲-۱۷) است. تنها تفاوت آن اینست که الکترنهای سریع که حالات ارتعاشی ملکولهای ازت ودی اکسید کربن را ایجاد میکند. بوسیله تابش یونیزه و یک میدان شتاب دهنده خارجی ایجاد میگردد. تابش یونیزه یک شعاع الکترن است که در یک شتاب دهنده الکترنی ایجاد میگردد. شعاع حامل الکترنهای با انرژی بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ Kev و جریان با چگالی 10^{-4} A/Cm^2 میباشد. یک نمودار ساده لیزر الکترو یونیزاسیون CO_2



شکل ۲-۱۹ طرح لیزر الکتردمونیزاسیون — ۱ — مفحظه لیزر — ۲ — آینه خروجی — ۳ — شعاع الکترن سریع — ۴ — الکترو فوکانی — ۵ — الکترو تختانی — ۶ — ورق فنزی شفاف جهت شعاع شعاع الکترن — ۷ — خروجی لیزر در شکل ۲-۱۹ نشان داده شده. شعاع الکترن از یک فلز عبور نموده

و به محیط عمل واقع درین دو الکترد وارد میشود یک ورقه فلزی در حد فاصل محیط عمل (که تحت فشار زیاد است) و سلاح الکترنی قرار دارد. شعاع لیزر محیط عمل را از طریق آینه خروجی تشدید کننده ترک می‌کند. در مقایسه با لیزر های معمولی CO_2 ، قدرت حاصله از این نوع لیزرها (در واحد حجم مواد فعال) پنج تا شش برابر بیشتر است. در خاتمه اشاره مینماییم که امکان ایجاد فوتو یونیزاسیون با استفاده از اشعه ماوراء بنفس نیز وجود دارد هم چنین می‌توان از ذرات سنتگین حاصله از واکنش های هسته‌ای جهت یونیزاسیون استفاده نمود.

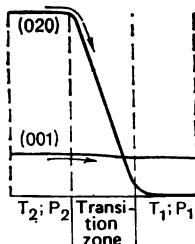
لیزرهای گازی دینامیک

روش‌های ترمودینامیکی جهت ایجاد جمعیت وارونه: در اثر تحریک حرارتی می‌توان جمعیت بالائی از حالات ارتعاشی و چرخشی یک مولکول را ایجاد نمود با این منظور میبایستی یک مخلوط گازی تا درجه حرارت بین $1000\text{ a }2000\text{ K}$ گرم شود. البته چنین افزایش درجه حرارت بسادگی نمی‌تواند ایجاد جمعیت وارنه بنماید. بعارت دیگر هر چه درجه حرارت گاز بالا باشد ترازهای پائین یک مولکول بیشتر از ترازهای بالا پر جمعیت میشود. حال فرض کنید گاز تا درجه حرارت T_2 گرم و سپس به سرعت سرد شده به درجه حرارت T_1 برسد. t_2 نشان دهنده زمان لازم جهت رسیدن از درجه حرارت T_2 به T_1 و E_2 و E_1 باشد پائین و بالای انرژی آنها می‌باشد. t_1 و t_2 عمر این سطوح باشد فرض کنید سرد شدن سرعت انجام $t_2 \ll t_1$ باشد با این تنظیم

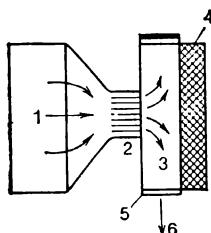
زمانی جمعیت تراز E_1 از پائین آمدن درجه حرارت تبعیت می‌نماید در صورتیکه تراز E_2 سستی نموده و در درجه حرارت بالای جمعیت باقی میماند این رفتار باعث یک وارونگی بین ترازهای E_2 و E_1 میگردد سرد شدن سریع ممکن است بسهولت با انبساط آدیسا باعث گاز بهنگام عبور از دریچه باریک یا لوله تحت فشار صورت پذیرد، این اصل ترمودینامیک است که زمینه ساز فعالیت لیزرهای دینامیکی میباشد. باید توجه داشت که جمعیت وارونه را می‌توان با حرارت دادن سریع گاز بوسیله امواج ضربه‌ای نیز بدست آورد.

لیزر گازی دینامیک CO_2

در این نوع لیزر مخلوطی ازدی اکسید کربن، ازت و بخار آب بعنوان محیط فعال مورد استفاده قرار می‌گیرد. مخلوط حاوی ۸٪ آب و ۹۰٪ CO_2 درصد ازت و ۲٪ درصد آب میباشد. مراکز فعال ملکولهای CO_2 می‌باشند. طرح لیزر در شکل ۲-۲۰ دیده می‌شود.



شکل ۲-۲۱ - انتقال سطوح بالا (001) و پائین (020) در گاز CO_2 - خروجی لیزر



شکل ۲-۲۰ - ایده لیزر گازی دینامیک
۱ - حفره اولیه - ۳ - دهانه - ۴ - مشد
۵ - محفظه پراکنده - ۶ - آینه خروجی

مخلوط گاز تحت شرایط حرارتی و فشار متناسب $T_2 = 1500\text{ K}$ و $P_2 = 20\text{ atm}$ قرارداده میشود در قسمت پشت دهانه یک سری دریچه (در تصویر با خطوط موازی مشخص گردیده) با پهناهی یک میلیمتر تعیینه گردیده، گاز در اثر انبساط به درجه حرارت $T_1 = 250\text{--}300\text{ K}$ و فشار $10\text{--}15\text{ Pa}$ آتمسفر تنزل پیدا می کند. فلوئی که از دهانه سرازیر میشود بمزیزان $1200\text{--}1500\text{ m/s}$ ملکولهای برانگیخته CO_2 در عمل تابش می نمایند. سپس فلوی گاز به قسمت پراکنده کن پیوسته و فشار آن در حد آتمسفر می گردد. تابش حاصله از لیزرهای دینامیک بصورت ممتدمی باشد و قدرت خروجی آنها تا یکصد کیلووات میرسد. متساقنه راندمان این لیزرهای نسبتاً پائین است و بیشتر از ۱٪ نمیگردد. این واقعیت بعلت چنددلیل است مهمتر از همه انرژی جنبشی فلوی گاز قادر مصرف جهت لیزر است. دلیل دیگر اینستکه این فلو مقداری از ملکولهای ازت برانگیخته را به خارج مشدد برده این ملکولها فرصتی برای انتقال انرژی به ملکولهای CO_2 راندارند، و برای این ملکولها امکال تابش ایجاد نمی گردد. مکانیسم ایجاد جمعیت وارونه در لیزرهای گازی دینامیک CO_2 همانند اనواع دیگر لیزرهای در بین ترازهای $(001)-(001)$ و $(020)-(001)$ ملکولهای CO_2 ایجاد میگردد. مرحله انتقال انرژی مرتعش از ملکولهای N_2 عامل مهم پر جمعیت کردن (100) تراز بالای لیزر است. ملکولهای آب در انتقال سریع ملکولهای تابش کننده از حال (010) کمک می کنند.

پمپاژ ترمودینامیکی با این دلیل با ارزش است که حالات ارتعاشی ملکولهای N_2 و O_2 از طریق حرارت پر جمعیت می شوند تا از طریق

تحریک الکترونی . هم چنین لازم است تراز برانگیخته ارتعاشی ملکولهای N_2 و حالات (001) ملکول CO_2 هسته تراز حالات (100) و (020) و (010) ملکول CO_2 تخلیه شود. فرض کنید مخلوط $CO_2 + N_2$ که تا درجه حرارت $k = 1500$ گرم شده سریعاً در اثر عبور از دهانه انبساط پیدا کند ، بهنگام خروج از دهانه هائیکه سرعت گاز بمعیزان ۱۵۰۰ متر در ثانیه می رسد انرژی جنبشی ملکولها بمعیزان قابل توجهی افزایش می یابد. این انتقال انرژی بدليل حرکت ارتعاشی ملکولهای است از آنجا که برای حالت 001 ملکول CO_2 و تراز ارتعاشی ملکول N_2 فرصت کافی جهت پایداری وجود ندارد. هنگامیکه در یک لیزر که محیط گازی آن بازدازه کافی رقیق است. این ترازها در اثر برخورد عملاً غیر فعال می گردند گفته می شود حالت ارتعاشی ملکولهای ازت و حالت 001 ملکولهای CO_2 منجمد می گردد.

رفتار ملکولهای CO_2 در حالت 001 و 020 بهنگام عبور از محفظه اولیه (تحت درجه حرارت T_2 و فشار P_2) به منطقه فعال (درجه حرارت T_1 و فشار P_1) در شکل ۲-۲۱ دیده می شود ..

در منطقه فعال در حوالی ابتدای لوله تقریباً تراز (020) بطور کامل به حالت زمینه ای انتقال پیدا نموده در صورتیکه جمعیت در حالت 001 بمقدار جزئی کاهش پیدا نموده است .

در نتیجه یک وارونگی جمعیت بین این حالات اتفاق می افتد لذا ملکولهای CO_2 که به محیط عمل وارد می شوند کم جمعیت و دارای ترازهای تابشی پائین تر انرژی می باشند و تراز بالاتر لیزر آنچنان پر جمعیت می گردد که گوئی گاز در درجه حرارت T باقی میماند . قابل

توجه است که تراز ارتعاشی ملکولهای N_2 نیز از حرکت باز می‌ایستد. این ملکولهای برانگیخته انرژی خود را از طریق برخوردهای تشديدة آمیز به ملکولهای CO_2 می‌دهند و در تراز ۰۰۱ تجمع پیدا می‌کنند. باد آور می‌گردد که گاز ازت بمیزان زیادی در ترکیب گازها وجود دارد. (در حدود ۹۰ درصد) و انرژی ارتعاشی آن منبع اصلی جهت تابش همدوس (لیزر) می‌باشد.

بطور خلاصه، لیزر گازی دینامیک انرژی ذخیره شده را که به قسمت جلو دهانه واصل می‌شوند بشکل زیر صرف می‌نماید.

جزئی از انرژی ذخیره شده در اثر کشش متقارن و نوسانات خمی ملکولهای CO_2 تبدیل به انرژی انتقالی فلورئی (شار) که دهانه را ترک می‌کنند می‌گردد. انرژی ذخیره شده در کشش غیرمتقارن ملکولهای CO_2 و در نوسانات ملکولهای ازت تبدیل به انرژی تابش همدوس لیزر می‌گردد.

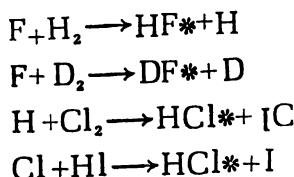
لیزرهای شیمیائی

ترکیبات شیمیائی قادرند مقادیر زیادی انرژی را که ممکن است مقدار زیادی از آن در واکنش‌های گرمایی آزاد شده باشد در خود ذخیره نمایند. تبدیل انرژی به تابش نور همدوس بسیار جالب توجه است. لیزرهای شیمیائی دقیقاً سیستم‌هایی هستند که در آنها چنین تبدیلاتی صورت گرفته است. تابش لیزرهای شیمیائی موجود در اثر انتقالات ارتعاشی یا دقیق‌تر بگوئیم در اثر چرخش و ارتعاش ملکولها صورت می‌پذیرد. آنها می‌توانند در طول موجهای بکوتاهی ۲

میکرومتر (نzdیک مادون قرمز) تابش لیزری داشته باشند . امروزه تحقیقاتی بمنظور تولید لیزرهای شیمیائی که در منطقه مرئی طیف تابش می نمایند صورت می گیرد.

شروع و شتاب واکنش‌های شیمیائی

اغلب لیزرهای شیمیائی از انرژی واکنش‌های جانشین سازی که ملکولهای دو اتمی در حالت ارتعاشی برانگیخته ایجاد می کند ، استفاده می نمایند این ملکولها یا خودشان تابش می نمایند و یا اینکه انرژی تحریکی خود را به ملکولهای دیگر جهت ایجاد تابش لیزری منتقل می نمایند. در حالت اول جمعیت وارونه مستقیماً ایجاد میگردد و در حالت دوم بطور غیر مستقیم ناشی از لیزرهای شیمیائی است. در اینجا چند نمونه از واکنش‌های جانشین سازی که جهت تابش لیزری مفید است آورده میشود (علامت ستاره نشان دهنده حالات بر انگیخته است).



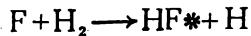
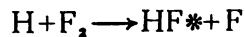
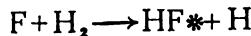
این واکنش‌ها باعث ایجاد ذرات بحالات برانگیخته می گردد، تجزیه اتمهای هیدرژن - فلورین - یا کلرین از حالات ملکولی اولیه (H_2 و F_2 و Cl_2) مستلزم استفاده از یک منبع اضافی انرژی نظری یک لامپ فلاش یا منابع طبیعی میباشد. جدا از آن واکنش شیمیائی

میباشد بسرعت انجام شود تا تراز بالای لیزر سریعاً از ملکولهای تابش کننده پر شود. میزان واکنش شیمیائی مناسب است با غلظت ذرات واکنشی بنابراین میزان زیادی از ذرات میباشد تهیه شوند تا سرعت عمل کافی وجود داشته باشد روش‌های مختلفی، جهت شروع و شتاب واکنش‌های شیمیائی وجود دارد. یکی از آنها جدا کردن در مفهوم لیزری بصورت جدا سازی نوری با شعاع الکترن، یا بواسیله منبع حرارتی صورت می‌گیرد. استفاده از نور لیزرهای شیمیائی با استفاده از لامپ فلاش صورت می‌گیرد. در اینجا یک پمپ موج (کوتاه‌تراز $2\mu\text{m} / 0.1$) یا انواع تخلیه با جرقه مورد نیاز است. یکی از ساده‌ترین تکنیک‌ها جهت شروع واکنش‌های شیمیائی استفاده از تخلیه الکتریکی در گازهای است که این تخلیه فقط برای حجم کم مواد تابش کننده لیزری مناسب است. بنابراین امید بهخش تراز همه جریان شعاع الکترن است.

شعاع الکترن قادر است واکنشی را در مدت زمان بسیار کوتاه 10^{-8} تا 10^{-10} ثانیه ایجاد نماید (مدت زمان ضریب با اتخاذ روش تخلیه نمی‌تواند کمتر از 10^{-10} ثانیه باشد)

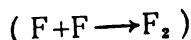
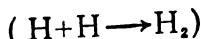
عناصر فعال شیمیائی را می‌توان بواسیله برخی از واکنش‌های شیمیائی بدست آورد. برای نمونه می‌توان واکنش شیمیائی $\text{NO}_2 + \text{F}_2 \rightarrow \text{NOF} + \text{F}$ را نام برد مونو اکسید ازت بعنوان یک رادیکال ثابت در درجه حرارت معمولی با ملکول فلورین واکنش نشان داده و حاصل آن اتم فلورین می‌باشد فرض کنید مخلوط گازی حاوی ملکول H_2O مقداری از عناصر فعال فرضاً اتم فلورین دریافت کنند، این

مخلوط مراحل زنجیری زیر را طی خواهد نمود.



هنگامیکه این عناصر فعال بمیزان زیاد تولید میگردند فعالیت سریع‌تر انجام شده و شرایط جهت تابش لیزری برخی از انتقالات HF^* ایجاد می‌گردد. از آنجاکه در یک مرحله حلقه‌ای میزان عناصر شیمیائی فعال تغییر نمی‌کند(عمل ذخیره‌سازی) امکان اینکه تعداد زیادی فلورین و هیدرژن را وارد عمل نموده و عناصر فعال HF^* را تهیه نمائیم بوجود می‌آید. میزان انرژی شیمیائی که در این راه می‌تواند تبدیل به تابش نور همدوس گردد بسیار بیشتر از انرژیست که جهت ایجاد عناصر فعال صرف می‌شود.

باید توجه داشت واکنش زنجیره‌ای بی‌انتهای است و عناصر فعال در اثر ترکیب مجدد با یکدیگر کم می‌شوند.



بنابراین تنها شروع واکنش شیمیائی کافی نیست میباشد تداوم آن با ایجاد عناصر فعال بجای آنهاییکه از زنجیره خارج میشوند، باقی بماند. تعداد عناصر تابش کننده لیزر در اثر غیر فعال شدن تراز بالای لیزر کاهش پیدا می‌نمایند. بمنظور افزایش عمر زنجیره شیمیائی

میباشد آنها را از انواع رشته‌ای (اشعبایی) انتخاب نمود نه از نوع خطی منفرد.

در واکنش زنجیره انشعبایی همانطور که از نام آن استباط می‌گردد عناصر فعال چند برابر می‌گردند. برای مثال در یک فشار و درجه حرارت معین مخلوط گاز هیدرژن و فلورین واکنش

$$\text{F}_2 + \text{FH} \longrightarrow \text{HF} + \text{F} + \text{F}$$

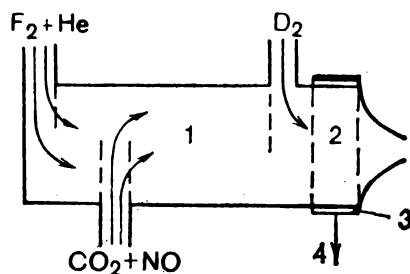
حاصل می‌گردد که می‌تواند شروع انشعب زنجیره‌ای باشد.

لیزر شیمیائی دوتربیوم فلوراید

در اینجا اشاره کوتاهی داریم به لیزر شیمیائی که در خطوط CO_2 در اثر واکنش بین دوتربیوم و فلوراید ایجاد می‌گردد. محفظه واکنش لیزر که در شکل ۲-۲ نشان داده شده. از یکسو مخلوطی از مونواکسید ازت و دی اکسید کربن را دریافت می‌کند. حاصل واکنش بصورت $\text{NO} + \text{F}_2 \longrightarrow \text{NOF} + \text{F}$ است در اینجا مقداری اتم فلورین با دوتربیوم واکنش نشان داده و این عمل در محفظه جداگانه‌ای صورت می‌گیرد.

$$\text{F} + \text{D}_2 \longrightarrow \text{DF}^* + \text{D} \quad \text{F}_2 \longrightarrow \text{DF}^* + \text{F}$$

در اینجا ملکولهای DF^* بر اینگیخته انرژی خود را به ملکولهای CO_2 که در مشدد نوری تابش می‌کنند منتقل می‌نمایند. یک گاز خنثی (هليوم) از داخل سیستم عبور نموده و از بالارفتن درجه حرارت و جرقه در مخلوط فلورین-دو تربیوم جلوگیری می‌کند.



شکل ۲-۲۲ طرح لیزر شیمیائی هیدرژن فلوراید-۱ محفظه واکنش
شیمیائی-۲-مشدد-۳-آینه خروجی-۴ خروجی لیزر

لیزر پلاسما

پلاسما بعنوان محیط فعال - هنگامیکه الکترون آزاد بايونهای با
بار مثبت در یک پلاسما برخورد نمایند این امکان وجود دارد که
بوسیله این یونها گرفته شده و بعبارت دیگر ترکیب مجدد اتفاق افتد.
بهنگام ترکیب مجدد مقداری انرژی معادل اتصال الکترون در اتم
آزاد می شود. این انرژی ممکن است منتهی به اتمها بايونهای در
حالت برانگیخته شود. لذا یک پلاسمای اتصال شونده فعال می تواند
عنوان محیط فعال بکار گرفته شود. لیزرهایی که بر اساس این ایده
ساخته می شوند اصطلاحاً موسوم به لیزرهای پلاسما می باشند.

پلاسمای چینی لیزرهای بطور قابل ملاحظه ای با پلاسمای
لیزرهای تخلیه گازی متفاوت است . برای تفکیک بهتر باید بگوییم
پلاسمای اول جهت الحاق مجدد بکار گرفته می شود و پلاسمای دوم
بهنگام یونیزاسیون ایجاد می گردد پلاسما با توجه به درجه حرارت
تخلیه ای T_e و انرژی جنبشی متوسط ذرات سنگین پلاسما (یونها،
اتمهای ملکولها) تعریف می گردند. درجه حرارت الکترون T_e از طریق
انرژی متوسط الکترنهای آزاد در پلاسما تعریف می گردد.

در حالت یونیزاسیون $T_e \gg T$ است. نسبت $100 = \frac{T_e}{T}$ در یک

تخلیه و $1 = \frac{T_e}{T}$ در یک جرقه بمعنی آنستکه الکترنهای آزاد در
چنین پلاسمائی بسیار سریع تراز یونها حرکت میکنند.

احتمال الحق در امر برخورد تحت این شرایط نسبتاً کم است برای الحق مجدد لازم است الکترنهای آزاد در سرعت کم حرکت نمایند که در این صورت $T < Te$ است. هر قدر غلظت الکترنهای آزاد بیشتر باشد احتمال الحق مجدد بطور محسوسی، بیشتر میباشد، این بدان معنی است که پلاسما بیشتر یونیزه است. در تخلیکه در تخلیه مشتعل (التهابی) این غلظت 10^{11} cm^{-3} و در تخلیه جرقه‌ای 10^{13} cm^{-3} میباشد. در پلاسمای الحق مجدد میباشد حد اقل 10^{15-16} الکtron در سانتیمتر مکعب وجود داشته باشد. بنابراین پلاسما در حالت الحقی غلیظ با یونیزاسیون بالا و الکترن‌ها سرد و موسوم به پلاسمای سرد میباشد. در مقابل آن پلاسما در حالت یونیزاسیون منیس ط و دارای درجه یونیزاسیون نسبتاً پائین با الکترن‌های فوق العاده پر حرارت و موسوم به پلاسمای گرم است.

پلاسمای ترکیب مجدد بعنوان محیط فعال بسیار جالب توجه است. بر عکس محیط‌های دیگر حالت خود را در جریان انرژی با چگالی زیاد تغییر نمی‌دهد. این موضوع امکانات اساسی جدیدی را جهت لیزرهای با قدرت زیاد افزایش میدهد. علاوه بر آن پلاسمای ترکیب مجدد دارای برخی از پتانسیل‌ها جهت تابش در محدوده ماوراء بنفس و اشعه X طیف الکترومغناطیسی است.

مقایسه لیزرهای پلاسما و تخلیه‌گازی

اختلاف اساسی بین این سیستم‌ها بر اساس خواص پلاسما در

حالات ترکیب مجدد، در یکی و حالت یونیزاسیون در دیگری است. بهنگام کار کردن درجه یونیزاسیون پلاسمما در لیزر تخلیه گازی افزایش یافته و در لیزرهای پلاسمما کم می شود. لذا می توان گفت لیزر تخلیه گازی درجهت انتقال گاز به پلاسمما کار میکند در حالیکه لیزر پلاسمما در انتقال پلاسمما به گاز کارمی کند.

یک لیزر تخلیه گازی ضربهای بر اساس شدت جریان زیاد که در تخلیه وجود دارد تابش می نماید. در یک لیزر ضربهای پلاسمما تابش هنگامی صورت می گیرد که جریان ضربه تمام شده والکترون های آزاد سرد، می شوند.

لیزر پلاسمای ضربهای

برای یونیزه کردن محیط فعال، این لیزرها بوسیله ضربه های الکتریکی سریع برای مثال ۲۰ کیلو ولت و ۳۰۰ آمپر در دوره تناوبی $1/\text{تام}\mu\text{m}$ پمپاژ می گردند محیط فعال مخلوطی است از ترکیبات فعال لیزری قابل یونیزه شدن و ترکیبات کمکی که به سختی یونیزه می گردند. ترکیبات دوم بمنظور سرد کردن الکترون های آزاد در پلاسمما مورد نیاز است. در پلاسماهای ضربهای موجود از بخارهای یونیزه فلزات قلیائی زمینی نظیر $\text{Ba}, \text{sr}, \text{ca}, \text{Mg}$ بعنوان محیط فعال استفاده می شود. برای مثال لیزر پلاسمای استرونسیوم - هلیوم که در انتقال بین ترازهای منفرد یونیزه یونهای استرونسیوم (sr^+) کارمی کند را در نظر می گیریم.

یک ضربه پمپ پلاسمائی تولید می کند که دارای غلظت استرونسیوم یونیزه دو برابر باشد. مراحل ترکیب مجدد منتهی به تشکیل یونهای است-رونسیوم منفرد یونیزه (بعنوان سراکن فعال) می گردد. خطوط عمده در منطقه بنفس طیف در طول موج 416 nm و 431 nm میکرومتر است.

لیزرهای نیمه‌هادی

حالات الکترونی در نیمه‌هادی‌های اصلی انرژی الکترون‌ها در اتم (یون و ملکول) بصورت مقادیر مجزا و بصورت ترازهای الکترونی مشخص می گردد. هنگامی که اتمها یک شبکه بلور را بصورت جامد تشکیل میدهند خارجی ترین الکترون‌های خود را در ساختمان بلوری بکار می گیرند. در نتیجه انرژی این الکترون‌ها می‌توانند بطور مدام با یک محدوده موسوم به باند انرژی تغییر پیدا کند. هر باند انرژی حاوی 10.22 تا 10.24 حالت الکترونی است. یادآور می‌گردد الکترون‌ها جزو فرمیون‌ها محسوب می‌گردند و بهمین دلیل از اصل پائولی (که می‌گوید تنها یک الکtron مجاز به اشغال هر حالت کوانتمی ممکن است) تبعیت می‌کند. این بدان معنی است که، اولاً فقط دو الکترون می‌توانند پائین ترین حالات انرژی ممکن را اشغال کنند (این دو دارای چرخش مخالف هستند ولذا قانون پائولی را نقض نمی‌کنند) و ثانیاً یک الکترون نمی‌تواند برانگیخته شده و به تراز بالاتر رود مگر آن

تراز خالی باشد - بنابراین یا قسمتی از یک باند بواسیله الکترنها اشغال می‌گردد یا بطور کامل . الکترنها ابتدا پائین ترین سطوح (تراز) انرژی را پر نموده و به ترتیب سطوح بالاتر انرژی را اشغال می‌نمایند. مشخصات الکترنی یک جامد با توجه به وضعیت قرار گرفتن دوره‌ای آتمها در شبکه بلور محاسبه می‌گردد . یک محاسبه کوانتم مکانیکی ترازهای مجاز انرژی را برای الکترنها در یک شبکه دوره‌ای پیش بینی می‌کند، ترازهای انرژی مجاز در باندهای انرژی معین قرار دارند، بین این باندها فواصل انرژی وجود دارد که در این فواصل وقفه انرژی و هیچ الکترنی در جامدات این فواصل را اشغال نمی‌کند . بالاترین باند پرشده در پراکندگی موسوم به باند ظرفیت است . باند بعدی انرژی که قسمتی از آن بواسیله الکترن اشغال شده و یا کاملاً خالی است موسوم به باند القاء جامد است . بین باند ظرفیت و پائین ترین باند القاء فاصله‌ای وجود دارد که موسوم به فاصله باند القاء فاصله‌ای وجود دارد که موسوم به فاصله باند یا ناحیه ممنوعه می‌باشد.

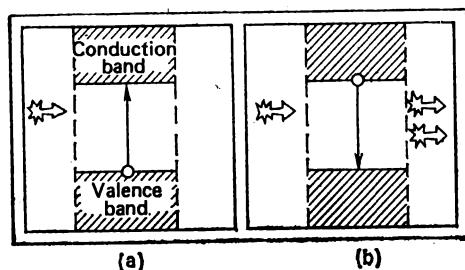
اندازه این فاصله تعیین کننده اینستکه آیا این ماده یک جامد است یا یک عایق و یا یک فلز و یا یک نیمه هادیست . اگر باند ظرفیت کاملاً اشغال و باند القاء کاملاً تهی باشد این ماده یک عایق است . این بدليل آنستکه هدایت در اثر حرکت باند آزاد از یک حالت به حالت دیگر بازد تحت تاثیر میدان الکتریکی صورت می‌گیرد . در یک عایق باند ظرفیت پر است و نزدیک ترین تراز انرژی در پائین ترین باند القاء و بواسیله باند خالی طویلی از یکدیگر جدا شده، بنحویکه تحریک

حرارتی جهت تحریک الکترنها بطرف باند القا کافی نمی‌باشد. بر عکس در فلزات بعلت رویهم افتادن باندهای ظرفیت و هدایت با بدیل اینکه میزانی از باند هدایت آنها پر شده، هدایت کننده‌های خوبی هستند و دریث میدان الکتریکی الکترنها در حرکت خود آزاد هستند. زیرا ترازهای خالی نزدیک در اختیار می‌باشد. چنانچه فاصله باند برای مواد باندازه کافی کوچک باشد (حدود ۲ تاسه الکترن ولت) حرارت می‌تواند الکترنهای لایه ظرفیت را بسوی باند هدایت حرکت دهد. هدایت حد متوسط بین فلزات وعایق می‌باشد. ماده در اینحالت نظیر یک نیمه‌هادی رفتار می‌نماید. هنگامی که یک الکtron در باند ظرفیت یک نیمه‌هادی در اثر حرارت برانگیخته و بسوی باند هدایت حرکت می‌کند یک لایه انرژی خالی در باند ظرفیت ایجاد می‌گردد. این لایه خالی که موسوم به حفره است دارای بسیاری از مشخصات یک الکtron است جز اینکه بارمثبت به آن منتقل شده، در صورت وجود یک میدان الکتریکی، حفره در امتداد میدان حرکت می‌کند، درست نظیر یک ذره بابار مثبت. نیمه‌هادی فاقد ناخالصی موسوم به نیمه‌هادی حقیقی است و دارای میزان مساوی الکترنهای هدایت و حفره می‌باشد. زیرا در مقابل هر الکtron هادی تولید شده یک حفره در آن ایجاد می‌گردد. یک انتقال کوانتمی الکtron از باند خالی به باند هدایت ممکن است بصورت انتقال دو تائی الکtron حفره دیده شود. الکtronی که به باند هدایت آورده شده تمایل به اشغال پائین ترین وضعیت در این باند را دارد، در حالی که حفره تمایل به صعود به بالای باند ظرفیت را دارا می‌باشد، هنگامی که انتقال از باند خالی به باند هدایت صورت می‌گیرد انتقال

معکوس از باند هدایت به باند ظرفیت نیز امکان پذیر می باشد. هنگامی که یک الکترن از باند هدایت به باند ظرفیت انتقال پیدا می کند در آنجا با حفره ای مواجه می شود، لذا جریان ممکن است بصورت الحق مجدد یک حلقه و حفر دیده شود.

انتقالات فوری در نیمه هادیها

فرض کنید یک نیمه هادی مورد تابش فوتونهایی که انرژی آنها مناسب با پهنهای باند ممنوعه مواد آن (یا کمی بیشتر است) قرار گیرد. چنین فوتونی می تواند بوسیله یک الکترن که ترازی را نزدیک مرز یا بالای باند ظرفیت اشغال نموده جذب شود. الکترن در اثر جذب تحریک شده و سپس به باند هدایت منتقل می گردد.



شکل ۲۳-۲۴ جذب و a نشر در یک نیمه هادی که بوسیله نور تحریک شده

(شکل ۲-۲۳۸) عمل^a چنین احتمالی برای فوتون جهت شروع عمل معکوس یعنی انتقال یک الکترن از باند هدایت بسوی باند ظرفیت وجود دارد. هنگامیکه این الکترن در باند ظرفیت با یک حفره الحاق می‌گردد، یک کوانتم تابشی با انرژی معادل اختلاف انرژی دو تراز رها می‌گردد این فوتون ثانویه دارای همان وضعیت فوتون اولیه است(شکل b-۲۳). در حالت اول نیمه هادی نور را جذب و در حالت دوم نشر اجباری در آن صورت می‌گیرد. نشر خود بخود نور نیز بهنگام سقوط ناگهان الکترن از باند القا به باند ظرفیت امکان پذیر میباشد.

تحریک یک نیمه هادی بوسیله حرارت تعداد نسبتاً کمی از الکترنها را از باند ظرفیت به باند هدایت جابجا می‌کند. لذا غلظت الکترنها در باند هدایت حتی در پائین ترین حد کمتر از باند ظرفیت است. بنابراین در درجه حرارت قابل قبولی مرحله جذب نور نسبت به نشر اجباری غلبه پیدا کرده، و نتیجه نهائی جذب بوسیله نیمه هادی می‌باشد. برای آنکه یک نیمه هادی بتواند فلوی برخورد کننده نوری را تقویت نماید می‌بایستی معکوس گردد، این عمل با مرکز الکترن در انتهای باند القا(در حدی بالاتر از حد بالای باند ظرفیت) امکان پذیر است.

در این حالت تابش اجباری نسبت به جذب برتری پیدا می‌نماید. نیمه هادی معکوس بوسیله غلظت الکترنها در باند القاء و بهمین ترتیب غلظت زیاد حفره‌ها در ترازهای بالای باند مشخص می‌گردد. نیمه هادی هائیکه در آنها این مشخصات ایجاد می‌گردد موسم به نیمه هادیهای

فاسد میباشند. یک نیمه هادی می تواند بصورت نوع P (P بمعنی مثبت از کلمه Positive) یا نوع n (الکترن) ساخته شود. از نیمه هادیهای بدون ناخالصی می توان بطور همزمان نوع P و n را تهیه نمود.

نیمه هادیهاییکه بواسیله شعاع الکترن پمپاژ می شوند

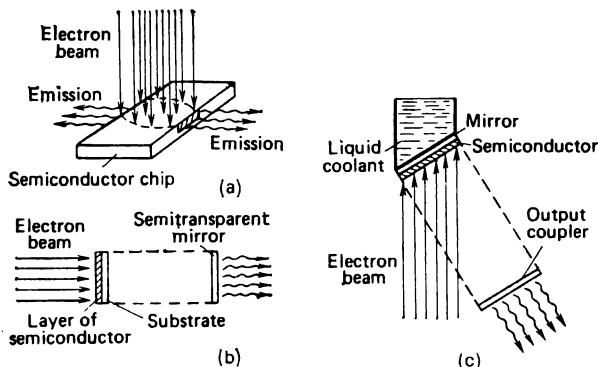
نیمه هادی را بواسیله پمپاژ نوری که در آن نیمه هادی تحت تأثیر تابش فوتون هاییکه انرژی آنها نسبت به باند ممنوعه (باند خالی) فزونی دارد، وارونه گر چه اغلب از یک شعاع الکترنی برای این منظور استفاده می شود.

الکترن های سریع (با قدرت ۵۰ تا یکصد kev) نیمه هادی را قطع و شروع به انتقال الکترن از باند ظرفیت به باند هدایت می نماید. در میان مواد الکترونیکی که در این ابداعات استفاده می شود . میتوان گالیوم آرسناید (GA.AS) و کادمیوم سولفاید(cds) یا کادمیوم سلناید(cdse) را نام برد. بیش از نیمی از انرژی شعاع الکترن در اثر انتقال حرارت به نیمه هادی از بین میروند، بنابر این پمپاژ اساساً بواسیله تغذیه ضربه ای کوتاه الکترن صورت می گیرد.

باید توجه داشت سرد کردن در لیزر های نیمه هادی بطور قطع ضروریست. درجه حرارت زیاد الکترن های باند القا را به تراز انرژی بالاتر می برد و غلظت الکترن ها در انتهای باند کاهش می یابد این عمل در حقیقت غلظت الکترون ها را در قسمت بالای باند ظرفیت افزایش میدهد: هر دو حالت میزان وارونگی را کم می کند. و این عمل باعث بالارفتن آستانه تابش می گردد . در مورد برخی از نیمه هادی ها

این آستانه آنقدر زیاد است که آنها فقط قادرند در درجه حرارت نسبتاً پائین تابش نمایند. برای نمونه می‌توان لیزر گالیوم آرسنید را که تا 800 K خنک می‌نمایند، مثال زد. بهمین دلایل لیزر سولفید کادمیوم و سلنید کادمیوم در برخی از سیستم‌ها در درجه حرارت 400 K هلیوم مایع کار می‌کند.

در این نوع لیزرهای نیمه‌های پمپاژ الکترون را می‌توان بصورت عمودی و طولی انجام داد. در حالت اول شعاع الکtron و تابش حاصله نسبت به یکدیگر عمود می‌باشند. در سطح دیگر نیمه هادی صیقلی گشته تا نقش مشدد را ایفا نماید.



۲-۲۴ لیزرهای نیمه هادی که بوسیله شعاع الکترون کنترل می‌شوند.
— a— پمپاژ عمودی b— پمپاژ طولی

(شکل ۲-۲۴ a)، در لیزرهایی که بصورت طولی مورد پمپاژ قرار می‌گیرند از آینه‌های خارجی بعنوان محفظه مشدد استفاده می‌شود. مواد فعال این لیزرهای لایه نازکی از مواد نیمه هادی است که بروی آن ماده شفافی با هدایت حرارتی زیاد قرار گرفته است،

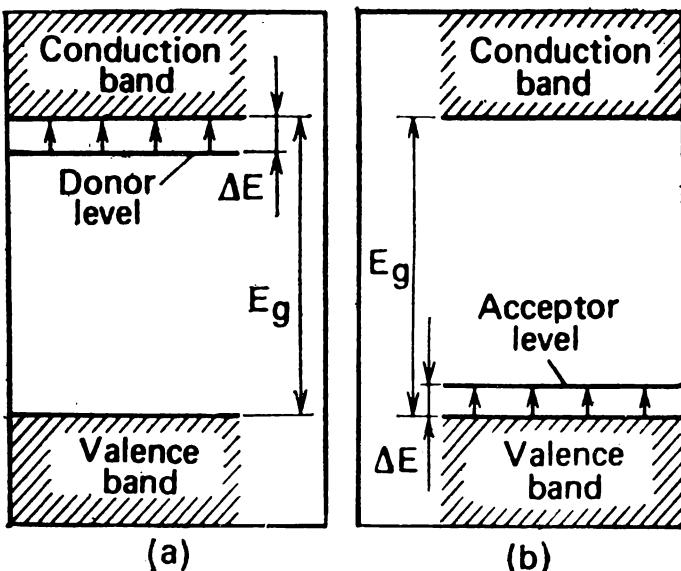
(شکل ۲-۲۴b) . در اینجا شعاع الکترن موازی محور مشد است بنابراین موافق و درجهت تابش لیزر است. ترتیب دیگری نیز وجود دارد که در شکل ۲-۲۴c مشاهده می‌گردد . در اینجا شعاع الکترن تحت یک زاویه به لایه نیمه هادی سرد اصابت می‌کند، لیزر کامپیوم سولفاید در طول موج $\lambda = 149 \mu\text{m}$ باراندمان 25° تابش می‌کند. چگالی آستانه این لیزر در درجه حرارت $K_{\text{ حرارت}} = 48^\circ\text{A/cm}^2$ برابر 8°A/cm^2 و در درجه حرارت $T_{\text{ حرارت}} = 212^\circ\text{K}$ شعاع الکترن $E_{\text{Kev}} = 6^\circ\text{MeV}$ باشد.

نیمه‌هادی‌های ناخالص نوع P و n

تاکنون لیزرهایی را با فعالیت حتیعی یا بهتر بگوئیم با مواد نیمه هادی ناخالص در نظر گرفتیم . ممزوج کردن (افزوختن ناخالصی) ممکن است رفتار الکترنی نیمه هادی را بطور قابل ملاحظه‌ای تغییر دهد . مواد ناخالص دونوع می‌باشند . یکی از این مواد الکترن‌های خودرا در اختیار باند القاء شبکه بلور قرار میدهد ، این نوع ناخالصی موسوم به ناخالصی نوع n (ناخالصی بخشندۀ) می‌باشند . نوع دیگر تمایل به دریافت یک الکترن از الکترن‌های مواد میزبان را دارد اما می‌باشد . این نوع ناخالصی‌ها موسوم به دریافت کمنده می‌باشد در منحنی تراز بلور میزبان اتم‌های ناخالصی باعث بالا رفتن تراز انرژی در مجاورت باند خالی می‌گردد شکل ۲-۲۵ نشان دهنده سیستم ترازها جهت مواد از نوع n (ناخالصی بخشندۀ) می‌باشد . تراز بخشندۀ انرژی در باند خالی بفاصله ΔE از انتهای باند القاء قراردارد . میزان ΔE در حدود

۰/۰ الکترنولت است که در حدود یکصدم باند خالی E_3 می باشد کوچک بودن میزان ΔE دلیل برضعیف بودن اتصال یکی از الکترنها با اتم است. لذا تحریک حرارتی مختصر این الکtron باعث فرار آن از اتم و حرکت بسوی باند القاء میگردد. فرض کنید درجه حرارت یک نیمه هادی نوع n بتدريج بالا رود. تازمانیکه $E_g > \Delta E$ گردد. انتقالات از تراز دهنده انرژی باند القاء وجود ندارد. در حوالی بين ۲۰ تا ۵۰ درجه کلوین تراز دهنده انرژی تهی می گردد. اين بدان معنی است که کلیه اتمهای انرژی دهنده الکtron های خود را قبل از بازدقاداره اند.

اگر غلظت ناخالصی ها در مواد باندازه کافی زياد باشد (حداقل 10^{18} اتم در سانتیمتر مکعب) نیمه هادی بمیزان سنگینی ممزوج میگردد و ضعیت تراز انرژی با یک نیمه هادی دریافت گفته شده در شکل ۲-۲۵ تشریح گردیده است.



۲-۳۵ نمودارهای باند انرژی برای نیمه هادیهای a - نوع n و b - نوع P

در اینجا اتم‌های دریافت‌کننده را می‌بینیم که در بالای باند ظرفیت ایجاد تراز دریافتی ΔE را نموده‌اند. در اینجا یک تحریک حرارتی کوچک قادر است الکترونها را از باند ظرفیت بسوی تراز دریافت‌کننده

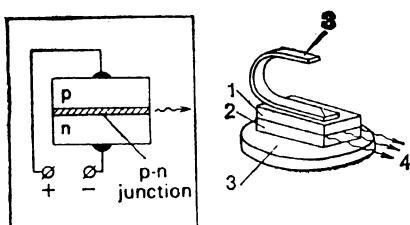
انرژی بالا برد. این تراز در درجه حرارت 20°C ۵۰ درجه اشباع می‌گردد. الکترنهاست که با این تراز آمده‌اند چندین حفره را ایجاد نموده و نیمه هادی از نوع P را با غلظت ناخالصی حداقل 10^{18} اتم در سانتی متر مکعب ایجاد می‌کنند.

لیزرهای تزریقی

رایج‌ترین روش جهت ایجاد جمعیت وارونه در نیمه هادی‌ها اتصال مواد از نوع P_{n} به یکدیگر است. این اتصال موسوم به اتصال p-n می‌باشد حال فرض کنید یک ولتاژ جریان مستقیم (dc) به ورقه نیمه هادی که دارای اتصال P-n است داده شود (شکل ۲-۲۶). در اثر میدان الکتریکی تزریق الکترن‌های القائی از منطقه n بسوی منطقه تزریقی صورت می‌گیرد، درحالی که حفره‌ها از سوی P وارد اتصال می‌گردند. اتصال n-p ناظر انتقال الکترن‌ها از باند هدایت بسوی باند ظرفیت است. باین دلیل است که الکترن‌ها و حفره‌ها در آنجا به یکدیگر ملحق می‌گردند و انرژی مازاد بصورت تابش خارج می‌گردد. نتیجتاً یک فعالیت لیزری را می‌توان با استفاده از یک مشدود نوری مناسب بدست آورد. دیودهای نیمه هادی که بطرز فوق تابش می‌نمایند موسوم به لیزرهای تزریقی می‌باشند معروف ترین نمونه این نوع لیزر از ورقه GAAS تهیه شده: قسمت n این نمونه با مقدار زیادی گالیوم آرسناید توأم با تلوریوم با غلظت $10^{18} \times 10^{18}$ اتم در سانتی‌متر مکعب ممزوج گردیده، درحالی که قسمت P آن با مقداری

روی باغلطت در حدود 10^{10} اتم در سانتیمتر مکعب ممزوج است. این لیزر در طول موج 820nm میکرومتر در منطقه مادون قرمز تابش می کند. لیزرهای نیمه هادی نوع تزریقی ارزان ترین و کوچکترین لیزرهای قابل دسترس می باشند، این نوع لیزرهای از نقطه نظر تجاری با ارزش بوده زیرا می توان تعداد زیادی از آنها را با بکار گیری تکنیکی که در تولید ترانزیستور اعمال می شود، تولید نمود.

شکل ۲-۲۶ نشان دهنده ایده این طرح لیزر است. انتهای صیقلی این



۲-۲۶ لیزر تزریقی -a- نمودار لیزر-b- شکل دستگاه ۱- نیمه هادی نوع p-n-نیمه هادی نوع n-p-پایه سربی ۴- خروجی لیزر

نوع لیزرهای مبتنی بر اتصال زاویه 90° می سازد. این دستگاه بسیار ظرفیت می باشد و ابعاد انتهائی آن در حدود یک میلیمتر است. ضخامت لایه اتصال $n-P$ در حدود دو میکرومتر است. قدرت خروجی این نوع لیزرهای در حدود 10mW وات می باشد و بصورت ممتد تابش می نمایند. طولانی ترین خروجی و بهترین راندمان را می توان در درجه

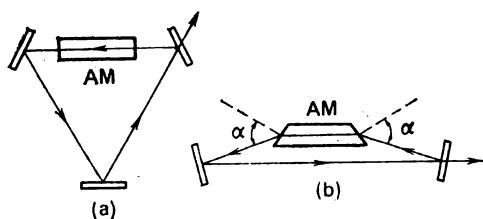
حرارت هلیوم مایع $K_4/2$ بدست آورد. در برخی از لیزرهای تزیریقی نابش در درجه حرارت معمولی اطاق بدست می‌آید، مسلمانًا قدرت وراندمان آنها کمتر می‌باشد. بطور کلی لیزرهای تزیریقی بسیار مفید می‌باشند و دارای راندمان نسبتاً بالا تا حدود ۵۰۰ الی ۶۰۰ درصد می‌باشند.

تعیین حدود شعاع در مشدد

أنواع لیزرهایی که تاکنون در نظر گرفتیم از نظر مواد فعال و روش پمپاژ با یکدیگر متفاوتند. این مواد را می‌توان در مشدهای نوری مختلف قرار داد. مشدد نوری در تعیین حدود اشعه لیزر مؤثر می‌باشد.

مشدهای خطی و حلقوی

مشدهای نوری را می‌توان بدو شکل خطی و حلقوی تقسیم بندهی نمود. در مشدهای خطی آینه‌ها در امتداد یک خط که محور نوری مشدد است قرار دارند. در مشدهای حلقوی نور در یک حلقه مسدود و منعکس می‌گردد. این ترتیب همچنانکه در شکل ۲-۲۷ a دیده می‌شود یک سیستم مت Shankl از سه آینه‌یا بیشتر است. همچنانکه در شکل b ۲-۲ دیده می‌شود، تهیه یک مشدد حلقوی با استفاده از دو



شکل ۳-۲۷ مشددهای حلقوی - مشدد با ۱ آینه - b - مشدد با دو آینه .
- مواد فعال α - زاویه بروستر

آینه نیز امکان پذیر است . در اینجا ماده فعال در مسیر اشعه خروجی قرار ندارد. یادآور می گردد شکل منحنی و خطی را نیز میتوان بصورت حالت تغییر یافته مشددهای خطی در نظر گرفت ، مشددهای حلقوی در موارد خاص مورد بحث قرار می گیرند. آنچه در اینجا مورد بحث قرار میگیرد. ارزیابی مشخصات مشددهای خطی است.

مشددهای ثابت و متحرک

شرط ثابت بودن: یک مشدد نوری هنگامی ثابت است که اشعه ایکه بین آینه‌ها رفت و برگشت می کند به داخل محفظه محدود باشد، در غیر اینصورت متحرک است، ثبات مشدد با توجه به شکل هندسی آن یعنی انحناء آینه‌ها (مسطح - مقعر - محدب) و نسبت طول مشدد به

انحناء تعیین می شود. آزمایش ثابت بودن مشدد بوسیله ردبایابی نوری که رفتار مشدد را ارزیابی می نماید مشخص میگردد. باید توجه داشت چنانچه پس از انعکاس های متعدد این شعاع از محور مشدد دور شود، مشدد دارای کاهش زیاد است در غیر اینصورت چنانچه اشعه نزدیک محور باقی بماند، مشدد دارای فقدان کم است. چنین تجربه ای بطور کلی برای دو آینه باحد فاصل L و شعاع انحناء r_1 و r_2 صورت گرفته، نتایج این آزمایش شرایط ثبات را بطور کلی بصورت دو کمیت g_1 و g_2 بشكل زیر تعیین می کند.

$$g_1 = 1 - \frac{L}{r_1} \quad (2-1)$$

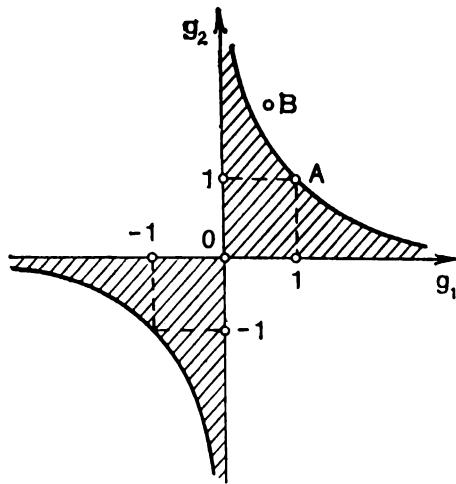
$$g_2 = 1 - \frac{L}{r_2}$$

بطور قراردادی چنانچه مرکز انحناء در داخل محفظه لیزر قرار گیرد. شعاع انحناء مثبت، در غیر اینصورت r منفی در نظر گرفته می شود. برای يك آينه ساده $l/r = 0$ می باشد. با اين تعاريف ساده شرایط ثبات بشكل 2-2

$$g_1 g_2 < 1$$

در خواهد آمد. تا زمانیکه اين نسبت ها در مشدد وجود داشته باشد يك شعاع پاراکسیمال به محور نوری نزدیک خواهد بود (حتی پس از انعکاس های متعدد) لذا این ترتیب ثابت خواهد بود. درحالاتی که $g_1 g_2$ معادل صفر و یا يك باشد، لیزر در مرز بین ثبات و بی ثباتی است و در اینحالت گفته می شود دارای ثبات حاشیه ایست.

شرایط ثبات در شکل ۲-۲۸ رسم شده . در این شکل

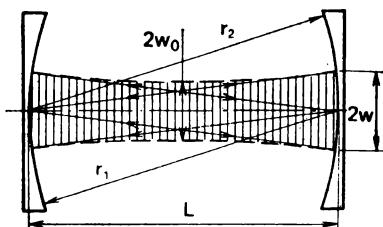


شکل ۲-۲۸ - منحنی ثبات

قسمت‌های هاوشوری مناطق ثابت است. هر مشدد بوسیله یک نقطه در این سطح مشخص می‌گردد. این ترسیم بمنزله منحنی ثبات است. نقطه A در این منحنی نشان دهنده مشددی است که بوسیله دو آینه مسطح ساخته شده (مشدد با صفحات موازی) که در مورد آن این

$\frac{1}{r_1} = \frac{1}{r_2}$ و $g_1 = g_2 = 1$ ، نقطه مبدأ مختصات منطبق است بامشدهم کانون این

امکان وجود دارد مشددی از دو آینه مقعر با انحنای یکسان که شعاع آن مساوی فاصله آینه $r_1 = r_2 = h$ و نتیجتاً $g_1 = g_2 = 0$ باشد.



شکل ۲-۲۹ مشدد هم کانون

مشددهای هم کانون

این ترتیب مهم در شکل ۲-۲۹ نشان داده شده. در این شکل قسمت سایه دار نشان دهنده مقطع قسمتی است که مملو از شعاع پرشی است. سطح کناری این قسمت دارای شکل هذلولی است این سطح بواسیله اشعه حاشیه‌ای تولید شده و موسوم به سطح سوزنده می‌باشد. مقطع شعاع در محلی که اندازه نقطه مینموم می‌باشد موسوم به کمر بند شعاع است. اگر در یچه آینه‌های مشدد مساوی باشند کمر بند شعاع دقیقاً در وسط قرار دارد.

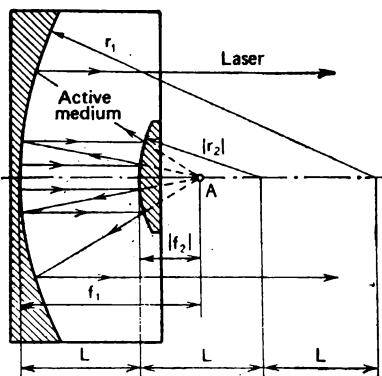
در این حالت شعاع نقطه که اکثرآ موسوم به کمر بند شعاع است برابر

$$w = (\lambda \lambda / 2\pi) \quad \frac{1}{2}$$

در اینجا λ طول موج تابش است. اندازه شعاع نقطه‌ای یک آینه بواسیله رابطه

$$W = (\lambda L / \Pi)^{\frac{1}{2}} = W_0 \sqrt{\frac{2}{\pi}} \quad ۲-۴$$

مشخص می‌گردد. موقعیت کمربند شعاع را می‌توان با انتخاب آینه‌های با دریچه مختلف یا تعبیه و یا فراگم در داخل محفظه کنترل نمود. باید توجه داشت شعاع نور جهت محدودی بطور ایده‌آل ندارد. سطح سوزنده نشان‌دهنده حجمی است که مملو از نور است بنحویکه خارج این حجم (دوراز محور) شدت نور بسرعت کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۲-۳۰- مشددهای متحرک تلسکوپی F_1 و F_2 فواصل کانونی آینه‌ها
کانون مشترک

مشددهای هم کانون متحرک تکسکوپی

یک نمونه مشددهای متحرک در شکل ۲-۳۰ نشان داده شده این مشدد موسوم به مشدد تلسکوپی است. این مشدد مملو از مواد فعال است. همانطور که در شکل دیده می‌شود، این مشدد از یک آینه مکرر $R_1 = 3L$

و یک آینه محدب $R_2 = h$ تشکیل شده است. این دو آینه دارای کانون مشترک می‌باشند. در منحنی شکل ۲-۲۸ این منحنی بوسیله نقاط B که دارای مشخصات $\frac{2}{3} = \frac{g_2}{g_1}$ است نشان داده شده.

میدان تابش داخل مشدد دارای دو نوع موج نور است. یکی امواج سطح و امواج کروی. امواج تخت از آینه مقعر بطرف آینه محدب حرکت می‌کند. در حالیکه امواج کروی در جهت عکس حرکت می‌نمایند.

این امواج بوسیله خطوط فلش دار نشان داده شده هر دو آینه کاملاً منعکس کننده می‌باشند. شعاع خروجی مشدد را پس از انعکاس از آینه محدب، ترک می‌نماید.

فصل سوم

کنترل خروجی لیزر

کاربردهای مختلف لیزر ما را نیازمند به کنترل خروجی و تحت نفوذ قراردادن اشعه جهت کنترل انحراف و انشعاب اشعه در فضا و تمرکز آن بر روی هدف میسازد. در مقیاس وسیع‌تر تغییر قدرت خروجی لیزر بمنظور کسب میزان انرژی معین و یا ویژگی‌های زمانی و فضائی آن میباشد. قدرت خروجی لیزر را میتوان بدو طریق یکی از داخل محفظه مشدد و دیگری از خارج آن کنترل نمود. در حالت اول قدرت خروجی با تأثیرگذاری بر روی نحوه تابش لیزر کنترل میگردد. و در حالت دوم خروجی لیزر پس از ترک محفظه تغییر شکل پیدا میکند.

کنترل ویژگی‌های طیف

در داخل محفظه

در اینجا لازم به یاد آوری است که ویژگی‌های طیف لیزر بوسیله مواد فعال مشخص می‌گردد. سیستم سطوح انرژی مواد فعال باعث ایجاد یک مجموعه خطوط نشری می‌گردد. لذا با بسکارگیری انواع لیزرهای توان خروجی و همدوسي و طول موج دلخواه را در محدوده یکدهم تا یکصد میکرومتر و حتی طول موجهای بالاتر را بدست آورد. هنگامیکه خروجی لیزر را تغییر میدهیم احتمالاً تأثیری بر روی فرکانس تابشی در برخی از انواع خاص لیزر و برخی از مواد فعال خواهیم گذاشت. یکی از روش‌های رایج در تغییر خروجی لیزر استفاده از فیلترهای با باند متنوع و دارای پهنهای باند خاص است، این روش دارای اهمیت چندانی نیست زیرا ناچاراً با فقدان مقدار زیادی تابش موادجه می‌گردیم. مؤثرترین روش کنترل شامل روش‌های درون محفظه ایست که بر روی پدیده تابش تأثیر می‌گذارد. در این روش‌ها از انتقالات نامطلوب جلوگیری بعمل می‌آید.

جلوگیری از انتقالات نامطلوب

مواد فعال دارای چندین تراز تابشی میباشند که با توجه به

کاربردهای متعدد لیزر گاهی لازم است لیزد در چندین تراز تابشی فعال و گاهی نیز دریک طول موج تابش داشته باشد. بنابراین جهت کنترل خروجی لیزر میتوان از برخی انتقالات نامطلوب لیزر جلو-گیری بعمل آورد. برای مثال نگاهی به لیزر هلیوم نئون می‌اندازیم. اتمهای نئون دارای سه تراز تابشی در طول موج‌های $3/39$ و $1/15$ و $63/0$ میکرومتر میباشد (شکل ۲-۱۲). ضریب افزایش اولیه این لیزر با طول موج افزایش می‌یابد. در اکثر کاربردهای این لیزر طول موج $63/0$. میکرومتر استفاده میشود. حال بمنظور جلو-گیری از نوسان لیزر در طول موج‌های $3/39$ و $1/5$ میکرومتر، آینه‌های مشدد را با موادیکه دارای خاصیت انعکاس زیاد در گوتاه‌ترین طول موج و خاصیت جذب در دو طنول موج دیگر هستند، می‌پوشانند. لذا فعالیت لیزر در طول موج $63/0$. میکرومتر صورت میگیرد.

انتخاب خطوط نشری لیزر با استفاده

از عناصر داخل محفظه‌ای

همانطور که در بخش لیزرهای رنگی (dye) ملاحظه شد، این نوع لیزرهای دارای گستردگی باند نسبتاً وسیعی (در حدود $1\text{ }\mu\text{m}$) میباشند از تراز تدریجی خطوط تکرزنگ از نشر چند خطی را میتوان با بکار گیری عنصر مستقل از طول موج در محفظه بدست آورد. در دو طرح معروف ارائه شده از منشور جهت پراکندگی و شبکه منعکس کننده استفاده میشود. منشور در داخل محفظه قرار

گرفته، در حالیکه شبکه یکی از آینه های محفظه را جایگزین میکنند حال فرض کنید منشور در داخل محفظه قرار گرفته و بوسیله شعاعی حاوی دو طول موج λ_1 و λ_2 بنحوی که $\lambda_1 < \lambda_2$ است، قطع شود. در آنسوی منشور شعاع بدو قسمت تقسیم میشود و بوسیله آینه محفظه برگشت پیدا میکند. برای یک تنظیم زاویه ای منشور یا آینه، تنها یکی از امواج به منشاء (محفظه) برگشت پیدا میکند و جهت تابش لیزری باقی میماند. شعاع دیگر ناپدید میگردد و یا ممکن است به مکانی که در شکل با خط منقطع نشان داده شده جابجا شود و بدینوسیله شعاع دیگر را به داخل محفظه برگرداند. لذا بدینوسیله خط مورد نیاز جهت تابش انتخاب میگردد. در اغلب موارد طول موج مورد نظر با استفاده از آینه چرخشی انتخاب میشود (شکل ۱۶-۳). درحالتی که موج بطور عمود به آینه برخورد میکنده بطرف محفظه لیزر برگشت پیدا نموده و تقویت شده و بصورت اشعه لیزر خارج میگردد. برای طول موج های دیگر چنین وضعیتی پیش نمی آید و بالطبع هیچگونه تابشی از آنها حاصل نمیشود.

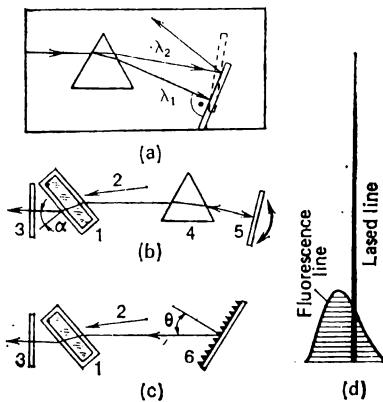
چرخش تدریجی آینه امکان تنظیم طول موج لیزر را ایجاد میکند. در حقیقت این طرز قرار گرفتن یک منشور و یک آینه گردان در هر مرحله تنها طول موج معینی را انتخاب نمی کند بلکه یک طیف به پهنهای 10^{-3} تا 10^{-4} میکرومتر را انتخاب می نمایند. آینه چرخشی یکایک خطوط طیفی را از پهنهای باند تابش انتخاب می نماید. در شکل ۱۶-۳ یک شبکه منعکس کننده مورد استفاده قرار گرفته که نور را با

طول موج λ با زاویه Θ به محفظه بسر می‌گرداند بنحویکه (۳-۱)

$$d \sin \Theta = \lambda$$

در اینجا d تناوب شبکه است. آنچه از این فرمول استنباط میگردد اینستکه برای یک زاویه داده شده Θ لیزر در طول موج λ که در فرمول (۳-۱) معین میگردد، تابش می‌کند اگر این خط در میان چندین خط نشری لیزر باشد، تنظیم با چرخش شبکه در محدوده زاویه Θ بدست می‌آید. باید توجه داشت که در هر دو شکل نه تنها امکان تنظیم فراهم میگردد بلکه با توجه قابل توجهی خط تابشی باریک میگردد. این باریک کردن بدون کم شدن قدرت خروجی صورت میگیرد. بجای یک تابش پهن و نه چندان شدید لیزر یک باریکه با تابش بالا که در شکل ۳-۱ a نشان داده شده حاصل میگردد. طرح مشدود را که در شکل b ۳-۱ و c ۳-۱ نشان داده شده، میتوان بنام مشددهای انتخابی خواند زیرا آنها قادر به انتخاب برخی از حالات فوتونی که در فصل ۱-۵ بحث آن آمده میباشند.

در مقایسه با مشددهای معمولی، مشددهای انتخابی از ائمه دهنده انتخاب بهتر برای حالات فوتونی میباشند.



شکل ۱-۳ سیستم لیزر ای‌بل تنظیمه ۱-سلول رنگی-۲-پمپ-۳-آینه خروجی-۴-منشور-۵-آینه گردان-۶-شبکه انكسار

ذخیره سازی انرژی

همانطور که در فصل های قبل اشاره شد محفظه Q نشان دهنده قدرت محفظه جهت ذخیره انرژیست. Q زیاد بمعنی آنست که انرژی زیاد را میتوان در محفظه ذخیره نمود، در حالیکه Q پائین دال بر اینست که محفظه بسرعت انرژی خود را از دست میدهد. در برخی از زمینه های کاربردی وابستگی زمانی لیزر از اهمیت بیشتری در مقایسه با مشخصات فرکانسی آن یعنی تکررنگی دارد.

در این فصل اشاره ای به برخی از تکنیکها جهت بدست آوردن طبیعت های با قدرت زیاد با استفاده از مشدد جهت ذخیره سازی انرژی، خواهیم نمود.

منعکس کننده چرخشی با استفاده

از دریچه مکانیکی

یک محفظه مشدد را در نظر بگیرید که بجای یکی از آینه‌های آن یک منشور کاملاً منعکس کننده که با سرعت (با زاویه 90° نسبت به محور مشدد) بدor محور خود می‌چرخد، جایگزین شده هنگامیکه منشور می‌چرخد سطح منعکس کننده آن در مقابل محفظه قرار دارد Q محفظه برای مدت کوتاهی بالا می‌رود. هنگامیکه منشور خارج از این موقعیت باشد، برای زوایای در حد یک درجه میزان Q به نصف مقدار ماکریموم و در زوایای بزرگتر میزان Q بسرعت کاهش پیدا می‌کند و به مینیموم میرسد. بدیهی است هنگامیکه لیزر فعال است منشور و محفظه در یک خط قرار دارند در غیر اینصورت کاهش محفظه بسیار بالا رفته (Q کم) و تابش قطع می‌شود. اگر منعکس کننده چرخشی با سرعت هزار دور در ثانیه بچرخد مدت زمانی که ذخیره محفظه مشدد از میزان ماکریموم به مینیموم میرسد در حدود 10^{-7} ثانیه است.

دریچه‌های الکترواپتیکی

در اینجا آثار جالب و مفید الکترواپتیکی در تغییر ضربیب شکست سلول با استفاده از میدان الکتریکی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دو اثر جالب و مفید مورد توجه قرار میگیرد یکی اثر کسر (Kerr) و دیگری اثر پکل. در حالت اول ضریب شکست با مربع شدت میدان الکتریکی تغییر میکند، در حالت دوم ضریب شکست متناسب است با قدرت میدان. اثر پکل فقط در بلورها وجود دارد؛ در اینجا ذخیره سازی محفظه مشدد را با بکار گیری اثر پکل در نظر میگیریم یادآور میگردد که یک سلول کریستال که براساس اثر پکل کار میکند، هنگامیکه در یک ولتاژ جریان مستقیم (d.c) قرار میگیرد دارای بسامد دوبل میگردد. در بلورهای با بسامد دوبل یک شعاع نور بدوج که با سرعت‌های مختلف حرکت میکند، تبدیل میگردد، اینستکه بلور دارای ضریب شکست‌های مختلفی نسبت به نور پلاسیزه شده مختلف دارد. در سلول این اثر (بسامد دوبل) متناسب با ولتاژ داده شده است. شکل ۳-۲۶ نحوه استقرار لیزر جهت ذخیره سازی با سلول پکل است.

در اینجا AM نشان دهنده مواد فعال و TM آینه با انعکاس کامل و OM خروجی لیزر است، بین مواد فعال و آینه خروجی دو پلاسیزه کننده وجود دارد که نور قطبی را در همان صفحه انتقال میدهد (S). سلول پکل که بین پلاسیزه کننده‌ها قرار دارد، بلوری است که در یک خازن الکتریکی محدود شده و صفحه آن دارای دریچه‌های جهت نور است.

در این پلاسیزه کننده هر سوری که بطرف سلول می‌آید میباشد از پلاسیزه کننده عبور کند. بنابراین در صفحه S پلاسیزه میگردد. این تابش پلاسیزه حاوی دو موج پلاسیزه یکی در مسیر X

و دیگری در مسیر Y است (شکل ۳-۲۰). در داخل سلول پکل موج اول با سرعتی متناسب با ضریب شکست n_1 حرکت می‌کند. در حالیکه موج دوم با سرعتی مناسب با ضریب شکست M_2 حرکت می‌کند. پلازایزه کننده P و سلول بنحوی قرار دارند که محور X دارای زاویه 45° نسبت به صفحه S است. در نتیجه طول موج این سور در خلاء λ است که از سلول با ضخامت L بصورت دو موج با اختلاف فاز $\Delta\phi$ خارج می‌شود.

$$\Delta\phi = 2\mu L(n_1 - n_2) / \lambda \quad (3-3)$$

ضریب شکست n_2 بطور خطی به میدان الکتریکی وابسته می‌باشد (اثر پکل).

$$n_1 = n_0 + n_0^3 r E / 2 \quad 3-4$$

$$n_2 = n_0 - n_0^3 r E / 2$$

در اینجا n_0 ضریب شکست به هنگامی است که میدان وجود ندارد r یک ثابت الکترواپتیکی سلول بلور است، از اینرو $n_1 - n_2 = n_0^3 r E$

بدیهی است هنگامیکه میدان وجود نداشته باشد $n_1 = n_2$ و $\Delta\phi = 0$ است. با جایگزینی معادله ۳-۵ در ۳-۳ با توجه بساینکه $EL = V$ و نیز ولتاژ dc که به سلول داده شده خواهیم داشت $\Delta\phi = 2\pi n_0^3 r V / \lambda$

ولتاژ را میتوان بنحوی تنظیم نمود که $\Delta\phi = \pi$ باشد.

در اینحالت سلول مانند یک صفحه موج نیمه عمل می‌کند، و اشعه خروجی نسبت به یکدیگر 180° درجه خارج از فاز می‌باشند. همانطور که در شکل ۳-۲۰ دیده می‌شود پلازایزاسیون حاصله هنوز خطی است.

از آنجا که صفحه جدید پلاریزاسیون نسبت به پلاریزر P_2 زاویه 90° می‌سازد، اجازه خروج به آینه خروجی را نمیدهد. بنابراین بدون اینکه ولتاژی به سلول پکل داده شود (سلول خاموش) نور سیستم پلاریزه کننده را قطع می‌کند و سلول تقریباً بدون کاهش است (بجز کاهش جذب ایجاد شده در این ترکیبات) هنگامیکه سلول روشن است عبور نور قطع می‌گردد. یا بطريق دیگر بگوئیم ظرفیت محفظه Q بهنگام خاموش بودن سلول پکل ماکزیمم و بهنگام روشن بودن سلول مینموم است. میزان ذخیره سازی بستگی به فرکانس ولتاژ داده شده به سلول دارد. زمان ذخیره سازی بسیار کوتاه در حد 10^{-6} ثانیه می‌باشد که بنحو محسوسی کوچکتر از دریچه‌های مکانیکی است.

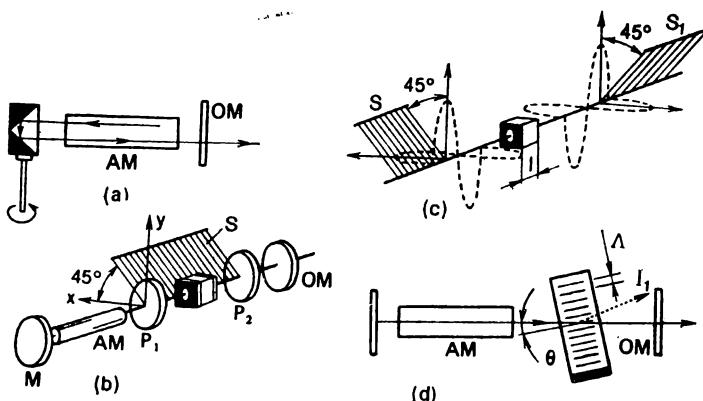
بطور خلاصه: یک سلول پکل توأم با پلاریزر بعنوان دریچه با سرعت زیادی کار می‌کند. لذا عبارت دریچه‌های الکترواپتیکی برای این سیستم‌ها بکار برده می‌شود.

ذخیره سازی بطريق نوری صوتی

ذخیره سازی محفظه Q بطريق نوری صوتی براساس انعکاس نور روی یک شبکه فاز که بواسیله امواج وراء صوتی تولید شده، بواسیله ترانسد یوسرهای پیزوالکتریک (PET) دریک مایع یا جامد صورت می‌گیرد. بعلت وجود امواج وراء صوتی مواد نظیر شبکه فاز عمل می‌نمایند در حقیقت فشار السقاء شده از امواج وراء صوتی باعث

تغییرات موضعی ضریب شکست مواد میگردد (اثر فوتوسوالستیک) . شبکه دارای تناوبی معادل طول موج صوتی λ و دامنه‌ای متناسب با دامنه صوت دارد.

هنگامیکه نور به چنین شبکه سه بعدی اصابت میکند مقداری از آن شکسته شده یعنی از مسیر اولیه خود جدا میشود. میزان نور شکسته شده را میتوان با افزایش فرکانس ولتاژ محرک افزایش داد. شکل ۳-۲۵ طرز قرار گرفتن یک لیزر و یک محفظه مدولاتور نوری صوتی را نشان میدهد.



شکل ۳-۱—روش‌های ذخیره سازی
۱—منعکس کننده چرخشی ۲—روش الکتروآپتیک
۳—روش نوری صوتی

در داخل مدولاتور نوری صوتی (که موسوم به دریچه نوری است) موج نور شبکه پراش (تفرق) را تشکیل میدهد.

$$2\Lambda \sin \Theta = \lambda \quad (3-7)$$

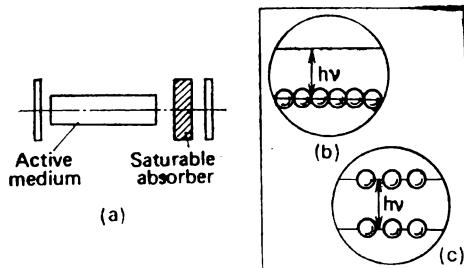
در اینجا λ طول موج نور در محیط محفظه است. برای آنکه این شرط برقرار باشد. میبایستی دریچه بطور مناسبی نسبت به محور مشدد قرار داشته باشد. زاویه Θ موسوم به زاویه براگ است. باید توجه داشت نسبت (۳-۷) در حقیقت اصلاح شده رابطه ۳-۱ میباشد. هنگامیکه (PET) خاموش باشد، هیچگونه موج ماورأ صوتی در ماده جاری نمیباشد و شعاع نور برخورد کننده بدون هیچگونه کاهشی عبور میکند. هنگامیکه (PET) روشن باشد مدولاتور مقداری از شعاع برخورده را با درخشندگی I_0 در شعاع پراکنده I متفرق میکند (شکل ۳-۲). هر چه نسبت $\frac{I}{I_0}$ به عدد یک نزدیکتر باشد، نور کمتری در امتداد محور منتقل و لذا ذخیره سازی محفظه کمتر است. زمان ذخیره سازی محفظه صوتی نوری در حدود $7 - 10$ ثانیه است، بمنظور کم کردن این زمان میبایستی اندازه لکه نور دریچه از نظر وسعت کوچک یعنی در دستگاه تممر کر شود. باید توجه داشت این تممر کر شعاع نور باعث تخریب راندمان $\frac{I}{I_0}$ دریچه شده و بهمین دلیل باعث بالا رفتن میزان نور عبوری بهنگام بسته و یا باز بودن دریچه میگردد.

ذخیره سازی غیر فعال با بکارگیری

مواد جاذب قابل اشباع

روش‌های مدولاسیون یا ذخیره سازی که تا کنون مورد بحث قرار گرفت موسوم به ذخیره سازی فعال است، فعال بودن بمنظور تأکید بر کنترل کاهش از خارج محفظه است. در ذخیره سازی غیر فعال مدولاتور ذخیره ساز حاوی عناصر خطی است که در داخل محفظه تعبیه شده، این یک جذب کننده است که نور را در طول موج لیزر جذب می‌کند و بزودی اشباع شده و بسرعت در مقابل نور شفاف و رنگ آن از بین می‌رود بهمین دلیل آنها را سلول‌های قابل رنگ برمی‌نمایند. سلول‌ها معمولاً حاوی ذرات جذب کننده سلول‌ها (اتم یا ملکول محلول‌های رنگی آلی) می‌باشند و قادرند نور را در طول موج لیزر جذب نمایند، بهمین دلیل دارای سطوح انرژی دقیقاً منطبق با انتقالات لیزری می‌باشند.

مرحله رنگ برمی در شکل (۳-۳) نشان داده شده



شکل ۳-۳ - ذخیره سازی غیر فعال بوسیله مواد جاذب قابل اشباع

فرض کنید برای سهولت ، اجزاء جذب کننده فقط دارای دو تراز انرژی باشند ، تراز بالا و تراز پائین . چگالی جمعیت این دو تراز را با n_1 و n_2 نشان می دهیم . لذا می توان ضریب تشدید جذب را بین سطوح مذکور بصورت زیر نوشت .

$$\alpha = \sigma_a (n_1 - n_2) \quad (3-8)$$

که در اینجا σ_a سطح مقطع فرایند تحریک در انتقالات آست .

معادله (3-8) بسرعت از رابطه (1-۳۶) جهت ضریب افزایش علامم کوچک تبعیت می کند . معادله ۳-۸ نشان دهنده اینستکه شدت جذب بعلت فرایند جذب است که نسبت به نشر تحریکی غلبه دارد . در حالت اولیه هنگامیکه نوسان لیزر حاصل نگردیده کلیه ذرات جذب کننده در تراز پائین می باشند بنابر این $n_1 = n_2$ است . این حالت

سلول مشخص کننده جذب ماکزیموم است.

فرض کنید ضربه پمپاژ مراکز فعال را تحریک و ایجاد جمعیت وارونه جهت تابش لیزری بنماید. حال چنانچه فعالیت لیزر اتفاق نیافتد این با خاطر سلول‌هایی است که هنوز به حالت رنگی بری نرسیده‌اند. برخی از مراکز فعال در همین حال می‌توانند خود بخود به تراز پائین‌تر رفته با فوتونهایی که ایجاد می‌کنند انتقالات اجباری جدیدی را در مساد فعال ایجاد نمایند که خود باعث ایجاد بهمن‌های کوچک ثانویه می‌گردد. مراکز جذب در سلول از تراز پائین به تراز بالاتر رفته و لذا $n_2 > n_1$ بیشتر شده و حالت اشباع ایجاد شده و در اینحالت جذب متوقف و سلول شفاف می‌گردد. این جریان باعث تسهیل بیشتر در ایجاد بهمن فوتونی می‌گردد. در نتیجه سیستم به حالتی می‌رسد که بسرعت شفاف شده و محفظه تحت شرایط ذخیره سازی بالا قرار می‌گیرد و طپش [PULSE] ایجاد می‌گردد. شکل (۳-۳) نشان دهنده جمعیت سطوح در مراکز جذب در حالت اشباع است. b) حالت اشباع کامل و c) حالت شفاقت است که در این حالت $n_2 = n_1$ بنابر این $\alpha = 0$ است. این حالت نشانگر اینستکه جذب نور بین ترازهای انرژی مراکز فعال در این حالت یکدیگر را بطور متقابل جبران می‌کنند و سلول دارای جذب نبوده و در اینحالت طول موج تابش نیز تقویت نمی‌گردد. هنگامیکه نور لیزر ساطع می‌گردد مراکز فعال در اثر تابش خود بخودی بتدریج به تراز پائین‌تر رفته و سلول به حالت غیر شفاف خود می‌رسد. در اکثر موارد محیط‌های شفاقت پذیر از محلول‌های رنگی آلی

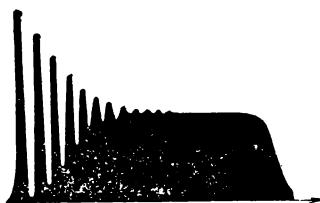
(سیانین‌ها - پتالوسیانین - و کربیتوسیانین) و مواد رنگی پلی‌متین ، محلول‌های رنگی سیانین جهت لیزر یاقوتی انتخاب می‌گردند . در حالیکه محلول‌های پلی‌متین جهت ذخیره سازی لیزرهای نودمیوم مورد استفاده قرار می‌گیرند .

تابش ضربه‌ای

لیزرهاییکه اخیراً ساخته می‌شوند قادرند طپش‌های نوری با مدت زمان مختلف از میلی ثانیه ($^{10} - 3$ ثانیه) تا نانوثانیه ($^{10} - 10$ ثانیه) و پیکو ثانیه ($^{10} - 12$ ثانیه) ، تابش نمایند . تکنیک‌های نوسانگری موجود که تکرار آن می‌تواند در محدوده گسترده‌ای تغییر کند تا 10 MHz یا 10^7 پالس ایجاد می‌نماید .

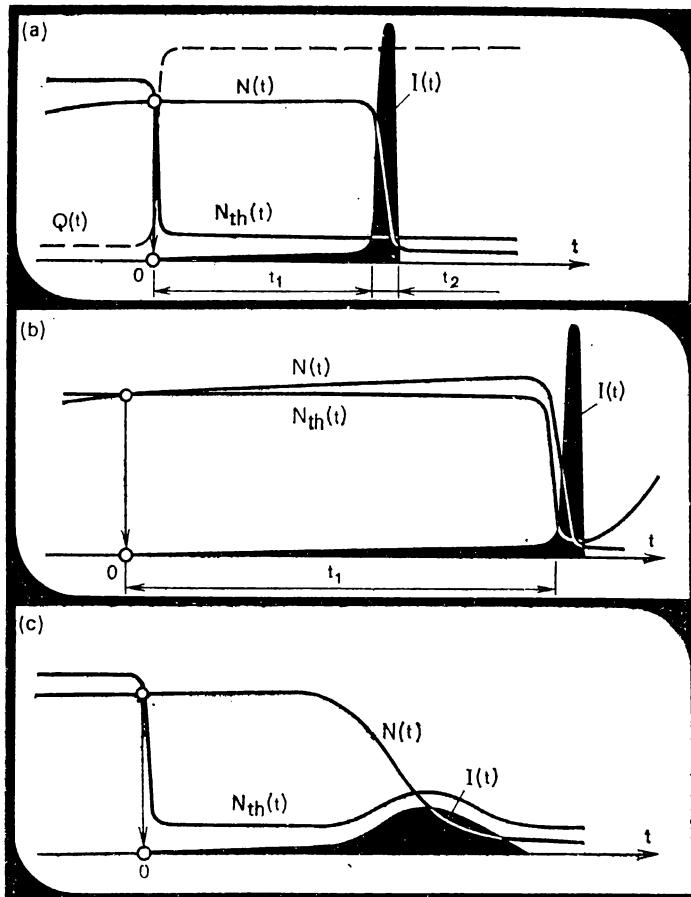
در بحث قسمت بعدی حالتی مورد نظر است که میزان تکرار طپش از $1/\text{ms}$ تا 10^8 GHz یعنی 10^8 تا 10^9 طپش در ثانیه مطرح می‌باشد .
حالت تابش آزاد : اینحالت در حقیقت شامل چندین روش کار است . وجه اشتراک این روشها عدم کنترل نوسانات است . پمپاژ ضربه‌ای در یک لیزر با نوسان آزاد ایجاد طپش با مدت زمان تداوم معادل با ضربه تحریک می‌نماید . برای لیزرهای جامد طول ضربه‌ها 1 ms تا 10 ms و برای لیزرهای رنگی که با ضربه‌های کوتاهتر خروجی دارای ساختمن ظرفی است . جزء اویله آن شامل یک سری طپش با پهنهای در حدود $1\text{ }\mu\text{m}$ است . این طپش‌ها که در شکل

(۳-۴) نشان داده شده نشان دهنده تجزیه جمعیت وارونه یک نوسان است . ضربه های تجزیه ناپذیر می توانند در اثر رفتار مشدود متحرک و غیر خطی بودن درون محفظه اتفاق افتد .



شکل ۳-۴- ساختمان یک طیش نوری در حالت تابش آزاد

ایجاد طیش های قوی - طیش های کوتاه با توان زیاد را می توان در لیزرهای ضربه ای با استفاده از ذخیره سازی فعال و غیر فعال بدست آورد . ابتدا حالت ذخیره سازی فعال را در نظر می گیریم . با بکار گیری یک نوع دیگر کنترل محفظه Q میزان کاهش محفظه بمنظور بالا رفتن محفظه جهت افزایش آستانه نوسان قدری بالا می رود . این امر باعث ایجاد جمعیت وارونه قابل توجهی برای سطوح تابشی می گردد سپس محفظه در حالت ذخیره پائین قرار گرفته و آستانه نوسان بسرعت به پائین ترین میزان خود سقوط می کند . در نتیجه جمعیت وارونه اولیه بطور قابل توجهی بالا رفته و یک طیش عظیم رخ می دهد . نقطه اوج توان آن بالاتر و جمعیت وارونه اولیه بیشتر و تابش تحت شرایط ذخیره سازی پایین ایجاد می گردد . مدت تداوم چنین ضربه ای که دارای قدرت در حد گیگاوات تداومی از ۱۰



شکل ۳-۵ - بسط ذخیره سازی طپش لیزر
ذخیره سازی فعال - b - ذخیره سازی غیر فعال - a

تا ۵ نانو ثانیه است . معدالک طول مینموم طپش ممکن است از یک تا سه نانو ثانیه باشد . شکل (۳-۵_a) نشان دهنده بسط زمانی در یک لیزر است این لیزر دارای محفظه ذخیره با دریچه است که بسرعت محفظه را از مینموم به ماکریموم می برد .

طرح های شکل مذکور ارائه کننده چهار تابع تغییر زمانی است .
 $N_{th}(t)$ روشنایی (t) جمعیت وارونه $Q(t)$ فاکتور کیفیت و $I(t)$ جمعیت معکوس آستانه . قابل توجه است که تغییرات $N_{th}(t)$ با $N_{th}(t)$ نسبت معکوس دارد . در $t = D$ جمعیت وارونه $Q(t)$ معکوس آستانه $N_{th}(t)$ را جهت شروع مرحله تابش قطع می کند . همانطور که قبل از گفته شد هنگامیکه این مرحله شروع می گردد انتقالات تابشی خود بخود که باعث بالا رفتن طبنی در محفظه می گردد به کنندی صورت می گیرد . بسهولت می توان دریافت که قدرت تابش ابتدا به کنندی افزایش می یابد و با زمان نسبت خطی دارد و میزان خطی t در حدود یکصد نانو ثانیه است . تقریباً تمام انرژی طپش در مرحله بعدی (t) که در حدود ده نانو ثانیه است ساطع می شود .

در مدت زمان t جمعیت وارونه ترازهای لیزر بطور عملی نامتغیر است . در صورتیکه در زمان t تابع $N(t)$ بسرعت افت می کند بنحویکه جمعیت ذخیره شده در تراز بالا بهنگام ذخیره سازی پائین (Q کم) بصورت یک طپش عظیم ساطع می گردد . چنین طپش هایی را می توان بوسیله روش های ذخیره سازی غیر فعال با انتخاب مواد جاذب قابل اشباع با چگالی نسبتاً بالای ذرات جاذب ایجاد نمود . بعلاوه مقطع انتقالات تحریکی سلول می باستی بطور

قابل توجهی بیشتر از انتقالات تحریریکی مواد فعال باشد . بسط زمانی طپش های کوتاه پر قدرت در لیزر های با ذخیره سازی سلول های رنگی شفافیت پذیر در شکل b (۳-۵) نشان داده شده . مرحله کار از زمانی شروع می شود که جمعیت وارونه $(t)N$ در اثر پمپاژ افزایش یافته و به بیش از حد $(t)N_{th}$ می رسد . این قسمت نشان دهنده رفتار مواد رنگی شفافیت پذیر است . در حالیکه در ذخیره سازی فعال گسترش خطی طپش تحت کاهش پائین اتفاق نمی افتد بلکه در شرایط کاهش بالا صورت می گیرد . بنحویکه سلول رنگی بطور مؤثری بهنگام افت سریع $(t)N$ بی رنگ می شود .

بنابر این گسترش طول طپش خطی t با ذخیره سازی غیر فعال در حدود $1\mu s = t_1$ خواهد بود . طول طپش غیر خطی t که اساساً پهناز طپش خروجی است و قدرت ماکزیمم طپش در حالت ذخیره سازی فعال یکسان می ماند .

گسترش پهناز طپش بوسیله

فیدبک منفی

فرض کنید کاهش محفظه را بطريق زیر کنترل کنیم : هنگامیکه قدرت خروجی افزایش یابد ، کاهش بیشتری ایجاد می گردد . بر عکس هنگامیکه قدرت خروجی افت می کند کاهش نیز پائین می آید . این حالت جهت ترکیب کنترل با فیدبک منفی مناسب است . فیدبک منفی

مانع توسعه نشر اجباری می‌گردد. بنابر این جمعیت وارونه در یک سیستم با مقداری فیدبک منفی دیرتر فساد پیدا می‌کند. این امر دال برای نیستکه زمان بیشتری جهت تولید یک تابش لازم است در نتیجه پهنانی طپش (هنگامیکه قدرت اوج تابش کم می‌شود) افزایش می‌یابد. فیدبک منفی را می‌توان جهت هدف‌های مختلف بکار برد. یکی از آنها اساس جذب دو فوتون در مواد نیمه هادی است.

فرض کنید یک ورقه نیمه هادی با باند هادی E_g را که در آن $V_0 < E_g < 2hv$ است وارد محفظه لیزر با فرکانس تابشی $h\nu$ بنماییم. برای مثال در لیزرهای نئودمیوم این شرایط با بکارگیری ورقه‌های نیمه هادی $CdSe$ و $GA\cdot As$ حاصل می‌شود. در شدت‌های انرژی $h\nu$ جهت بالا بردن الکترن از باند ظرفیت به باند القاء) بدون جذب قطع می‌کند.

البته بهنگام افزایش شدت تابش این امکان جهت الکترن باند ظرفیت ایجاد می‌گردد که دو فوتون را جذب نماید و انرژی آن بازدازه $2hv$ افزایش یافته و به باند القاء برسد. احتمال جذب دو فوتون با افزایش قدرت تابش بالا می‌رود. این امر دلیل برای نیستکه افزایش قدرت تابش باعث بالا رفتن کاهش محفظه (بعلت تیره تر شدن ورقه نیمه هادی) می‌گردد.

شکل ۳-۵ نشان دهنده بسط زمانی یک طپش در لیزر با پمپاژ ضربه‌ای است که محفظه آن علاوه بر دریچه الکترو اپتیکی حاوی یک نیمه هادی پهنه است و در مقابل موج لیزر تیره می‌گردد.

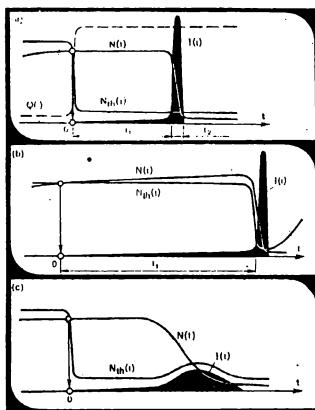
بعلت فیدبک اتوماتیک داده شده به این سیستم طپش‌های عظیم ساطع شده از آن در طول زمان با تناوب ۱/۰ تا ۱ میکرو ثانیه انتشار می‌یابد.

ایجاد زنجیرهای طپش با تکرار زیاد

بسیاری از کاربردهای لیزر مستلزم در اختیار داشتن نشر بصورت رشته‌های منظم تابش در تکرار نسبتاً بالا می‌باشد. چنین رشته‌هائی بوسیله لیزرهای که بطور مدام پمپاژ می‌شوند، ایجاد می‌گردد. اولین کوشش‌ها که در ایجاد رشته‌های طپشی با پمپاژ مدام بوسیله منعکس کننده‌های چرخشی ایجاد گردید، دارای نتایج خوبی نبود. باین دلیل ثبات ضعیف دامنه طپش‌ها در رشته بخاطر عدم قابلیت تولید دریچه صفحه انعکاسی بود.

موفیت‌های بیشتری با بکار گیری سیستم‌ها با مدولاتور نوری صوتی که بعداً تولید شد، حاصل گردیده. یک تکرار واقعی رشته طپش بوسیله لیزر با ذخیره ساز نوری صوتی تولید گردیده در حدود ده کیلو هرتز با قدرت طپش یک کیلو وات و میزان متوسط قدرت یک تا ده وات می‌باشد، تکرار بالاتر بخاطر زمان نسبتاً طولانی که جهت بسط هر طپش وجود دارد جلوگیری می‌گردد (شکل ۳-۵). چنانچه روش‌های خاصی جهت جلوگیری از گسترش تداوم خطی طپش ایجاد گردد، میزان ماکریموم طپش ممکنه به حدود ۵ کیلو هرتز می‌رسد. تکرار نسبتاً بالاتر را می‌توان در لیزرهای که بطور ممتد

پمپاژ می‌گردند بدست آورد. این لیزرهای از محفظه ذخیره سازی با ظرفیت بالا با دو آینه کاملاً منعکس کننده استفاده می‌نمایند.



شکل ۳-۵/۱- بسط ذخیره سازی طی پیش لیزر

۳- ذخیره سازی فعال با فیدبک منفی

محفظه حاوی یک دریچه است که بسرعت عمل می‌کند هنگامیکه از خارج مورد هدف قرار می‌گیرد مقدار زیادی انرژی را در مدت زمان کوتاهی تخلیه می‌نماید. حال فرض کنید هنگام پمپاژ دریچه بسته باشد در اینحالت چگالی انرژی در مشدد در اثر برتری نشر القائی نسبت به جذب، بالا می‌رود و جمعیت وارونه بالاتر از آستانه نوسان قرار می‌گیرد. هنگامیکه دریچه برای مدت کوتاهی باز می‌گردد یک پیش کوتاه ساطع می‌گردد و مشدد مقداری از انرژی ذخیره شده را تخلیه می‌نماید.

در مقایسه حالت ذخیره سازی فعال و حالت تخلیه محفظه در

حالت اول چگالی تابش میدان داخل محفظه بهنگامیکه Q کم است پائین است، لذا لیزر در وضعیتی پائین‌تر از آستانه نوسان است. هنگامیکه محفظه Q در شرایط بالاتری قرار میگیرد نوسان شروع و تابش خروجی ایجاد شده و از طریق آینه نیمه شفاف خارج میگردد. تابش حاصله از سطح زمینه‌ای شروع و گسترش خطی پیدا میکند.

بهنگام ذخیره سازی محفظه ابتدا در حالت بالا قرار میگیرد. لیزر در بالای آستانه افزایش است و قبل از اینکه تابش خروجی شروع شود نوسانات اتفاق میافتد و محفظه مملو از فوتون میگردد. یادآور میگردد چنانچه در حالت ذخیره سازی بعد از اینکه دریچه مقداری علائم کنترلی دریافت کند. نوسانات شروع میشوند. این موضوع تا حدودی زمان لازم جهت تشکیل طیش را کوتاه میکند. لذا امکان ایجاد طیش با تکرار زیاد ایجاد میگردد. تکرار طیش در محدوده 100 kHz تا 10 MHz با دوره تداوم ده تا یکصد نانو ثانیه و قدرت متوسط یک تا ده وات میباشد.

ایجاد طیش‌های فوق العاده کوتاه

در روش‌هاییکه اتخاذ میگردد امکان ایجاد طیش‌های فوق العاده کوتاه در مدت زمان کمتر از پیکو ثانیه تا دهها پیکو ثانیه (10^{-12} تا 10^{-11} ثانیه) با قدرت ماکزیمم چند گیگا وات (10^{12} وات) ایجاد میگردد.

همانطور که در فصل اول گفته شد. در حالات طولی دارای گستردگی فرکانس میباشند. حد فاصل بین حالات تنظیمی ثابت و برابر $\Delta V = C/2Ln$ است خروجی یک لیزر معمولی بعنوان تابع زمانی بستگی به فرکانس‌های نسبی و دامنه این حالات دارد. گرچه کلیه این پارامترها با زمان تغییر میکند و خروجی بطور انفاقی بالا و پائین میرود. اگر نیروهای خارجی حالات نوسانی مختلف را نسبت به یکدیگر در فاز ثابت نگهدارد، زمینه تداخلی ایجاد میگردد. چنین لیزرهایی دارای طیش با قدرت ماکریموم و مدت زمان تابش فوق العاده کوتاه میباشند.

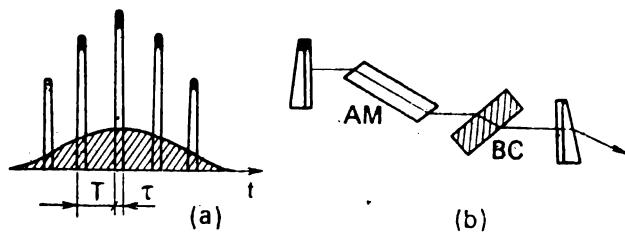
تناوب یک طیش اختصاصی t بوسیله پهنانی خط مربوط به منحنی افزایش تعیین میگردد و رابطه زیر برقرار است.

$$(3-9) \quad t = \frac{1}{\Delta v} = \frac{1}{m \Delta v}$$

قدرت ماکریموم یک طیش فوق العاده کوتاه حدوداً m مرتبه بیشتر از حالات معمولی است. زمان تناوب طیش‌ها را میتوان بطور تقریبی از رابطه

$$(4-10) \quad T = 1/\Delta v^2 = 2Ln/c$$

محاسبه نمود. برای لیزرهای نو دمیوم جامد پهنانی خط در حدود 10^{10} هرتز و برای لیزرهای مواد رنگی آلتی 10^{12} تا 10^{13} هرتز میباشد. شکل ۳-۶a یعنی مقایسه طیش عظیم را نشان میدهد (قسمت هاشوری شکل)

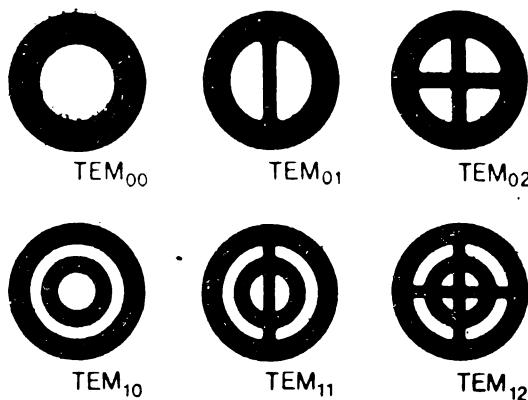


شکل ۳-۶ a- مقایسه یک طپش عظیم و زنجیره‌ای - b- محفوظه تابش مسانع انتخاب حالت محوری - AM- مواد فعال - BC- سلول رنگی با قابلیت شفافیت.

و زنجیره طپش که با همان پمپاژ لیزر ایجاد گردید.

ایجاد تغییرات در ساختمان فضائی خروجی لیزر

انتخاب حالت اولیه . عبارت ساختمان فضائی نسوز را بمعنی پراکندگی تابش اشعه بر روی مقطع شعاع در نظر میگیریم. مقاطعی از ساختمان میدان که بوسیله حالات متقاطع مختلف ایجاد میگرددند در شکل زیر دیده میشود.



شکل ۳-۷ - مقاطعی از ساختمان میدان

اکثراً لازم است که فقط حالت TEM_{00} در اشعه در نظر گرفته شود. زیرا در این حالت پراکندگی متعددالشکلی از تابش را بر روی مقطع شعاع نوز ایجاد میکند و اینحصار کمتر شعاع نور ناشی از عدم وجود حالات خارج از محوری ایجاد میگردد. همانطور که از شکل پیداست حالت TEM_{00} در اطراف محور مشدود متumer کر است. بنابراین بسادگی میتواند با تعییه یک دیافراگم محوری در محفظه انتخاب شود. دیافراگم نصب شده در محفظه ایجاد میزانی کاهش در مرحله تابش می نماید. با انتخاب دریچه و موقعیت مناسب جهت دیافراگم میتوان حالت اولیه را انتخاب و حالات دیگر را فرو نشاند.

انتخاب مشددهای متحرک جهت انتخاب حالت

در گذشته اعتقاد بر این بود که مشددهای متحرک جهت لیزر مناسب نمی‌باشند، زیرا چنین مشددهای قادر به تابش ظریف نبودند تحقیقات بعدی نشان داد، گرچه لیزرها با مشددهای متحرک هنگامی بطور عملی مفید هستند که مواد فعال آنها افزایش نسبتاً بیشتری در عبور حداقل بین ۱۰ تا ۲۰ درصد داشته باشند. یا بهتر بگوئیم این مشددها دارای مزایایی هستند از جمله رفتار تقویتی مشددهای متحرک است که در اثر آن قادر به ایجاد نور فوق العاده همدوس می‌گردند.

هنگامیکه رفتار اولیه نامعلوم است محفظه‌ها در معرض بیشتر کاهش‌های ناشی از پراکندگی می‌باشند. زیرا پراکندگی دلیل کاهش‌ها و عامل جلوگیری از نوسان برای حالات اریب می‌باشد. در مشددهای غیر ثابت کاهش پراکندگی اغلب بالا و بعنوان کاهش‌های تابش تعریف می‌گردد. بنابراین تعجب آور نیست که لیزر با یک محفظه غیر ثابت فعالیت لیزر را فقط در حالت اولیه نگه‌دارد، بعنوان یک مشد متحرک. شکل ۳-۲ نشان دهنده یک مشد هم کانون تلسکوپی است. این مشد تابش عملی یک موج جبهه‌ای تخت بسیار دقیق را ساطع می‌کند.

تبديل فرکانس در یک محیط غیرخطی

پلاریزاسیون غیرخطی محیط - قبل از اختراج لیزر اعتقاد بر

این بود که مشخصات محیط مستقل از شدت عبور نور از آن میباشد. منابع نوری قبل از اختراع لیزر قادر به ایجاد نور باشدت 10^5 V/m بود. یادآور میگردد که میدان تداخل اتمی با شدت‌های 10^8 V/m تا 10^{12} V/m این موضوع را آشکار میسازد که چرا امواج نوری نمی‌توانند تا حدودی اثر قابل توجهی بر روی میدان‌های اتمی و نتیجتاً رفتار محیطی تولید نمایند. بنابراین واکنش محیط بصورت پلاریزاسیون محیط (P) نسبت به میدان الکتریکی بصورت رابطه

$$P = XE \quad (3-12)$$

درمی‌آید. که در اینجا X سوپریلیته دی الکتریک خطی محیط است. منابع نور لیزر دگرگونی جدیدی را ایجاد نمودند، درجه بالای همدوسی در یک لیزر این امکان را بوجود آورد تا ایجاد تمرکز بالای قدرت نور ایجاد گردد. در عمل چنین چیزی بخاطر واگرائی کم شعاع لیزر و دسترسی به خروجی با قدرت زیاد قابل حصول میباشد. لیزرهای موجود دارای میدان‌های نوری با شدت 10^{10} V/m تا 10^{12} V/m را ایجاد مینمایند این قدرت میدان الکتریکی قابل مقایسه با قدرت میدان داخلی اتم میباشد. برای قدرت‌های بالای نور رابطه زیر برقرار است.

$$X(E) = X_0 + X_1 E + X_2 E^2 + \dots \quad (3-13)$$

که در اینجا X_0 و X_1 و ... پارامترهای محیط میباشند که قابلیت پلاریزاسیون را تعیین میکنند. برای اهداف عملی کافی است فقط دو عبارت اولیه را در نظر بگیریم. در چنین حالتی برای X رابطه (3-12) بصورت

$$p = X(E) = X_0 E + X_1 E^2 \quad (3-14)$$

باید توجه داشت این رابطه در شدت میدان الکتریکی غیر خطی است. این دلیل بر واکنش غیرخطی مواد به قدرت‌های نوریست و موج عبارت نور غیرخطی و محیط غیرخطی است. عبارت غیرخطی (3-15) در رابطه (3-14) $P_{NL} = X_1 E^2$ تشریح کننده پلاریزاسیون غیرخطی محیط و X_1 سوسپتیبیلیته غیرخطی است.

اثر متقابل امواج نوری در محیط غیرخطی

چنانچه یک موج تکرنگ ساده نور با فرکانس v با سرعت v_1 در مسیر Z یک محیط غیرخطی که دارای پلاریزاسیون غیرخطی برای این موج است حرکت کند. میدان قدرت الکتریکی این موج را می‌توان بوسیله رابطه

$$E_1(Z,t) = E_{01} \cos[2\pi(vt - Z/v_1)] \quad (3-16)$$

بدست آورد با جایگزینی رابطه (3-19) در رابطه (3-15) و درنظر گرفتن $2\cos^2\beta = 1 + \cos 2\beta$ رابطه زیر بدست می‌آید.

(3-17)

$$P_{NL}(Z,t) = \frac{1}{2} X_1 E_{01}^2 + \frac{1}{2} X_1 E_{01}^2 \cos[4\pi v(t - \frac{Z}{v_1})]$$

بدست آورد، عبارت دوم این معادله نشان‌دهنده اینستکه موج پلاریزاسیونی وجود دارد که در محیط با همان مسیر و سرعت انتشاری یابد لیکن موج دارای فرکانس دو برابر ($v_1/2$) است. این

موج پلاریزاسیون را میتوان نوعی تابش رفیق نامید که در محیط با سرعت v_1 حرکت میکند. تحت برخی از شرایط تابش ممکن است موج نوری جدید در فرکانس موج پلاریزاسیون ایجاد گردد. معادله را برای این موج نور بصورت زیر در نظر میگیریم.

$$(3-18) \quad F_2(Z, t) = E_{02} \cos[4\pi v(t - Z/v_2)]$$

دامنه این موج E_{02} را میتوان بصورت عبارت E_{01} و سوپتیبلیته غیرخطی و سایر پارامترهای محیط بیان داشت. سرعت v_2 موج انتشار یافته با سرعت موج برخورده v_1 متفاوت است زیرا ضریب شکست تابع فرکانس است بموجب رابطه (۱-۲) خواهیم داشت.

$$(3-19) \quad v_1 = C/n(v)$$

$$v_2 = C/n(2v)$$

از اینرو در یک محیط غیرخطی یک موج قوی نور با فرکانس v میتواند در اثر اصابت به خود ایجاد موجی با فرکانس v_2 را بنماید. که موسوم به موج دوم هارمونیک است و بهمین دلیل این مراحل موسوم به مراحل ایجاد نسل دوم هارمونیک میباشد. حال وضعیت را با دو موج در نظر بگیرید یکی با فرکانس v_1 و دیگری با فرکانس v_2 که وارد محیط غیرخطی گردند.

از انطباق این امواج میدان الکترومغناطیسی حاصل میگردد.

$$(3-20) \quad E(Z, t) = E_{01} \cos[2\pi v_1(t - Z/v_1)] + E_{02} \cos[2\pi v_2(t - Z/v_2)]$$

با جایگزینی این عبارت در رابطه (۳-۱۵) رابطه زیر بدست میآید.

$$3-21 \quad PNL(Z,t) = X_1 E_{01}^2 \cos^2[2\pi v_1(t - z/v_1)] \\ + X_1 E_{02}^2 \cos^2[2\pi v_2(t - z/v_2)] + 2X_1 E_{01} \\ E_{02} \cos[2\pi v_1(t - z/v_1)] \cos[2\pi v_2(t - z/v_2)]$$

با تعمق بیشتر در رابطه $2\cos^2\beta = 1 + \cos 2\beta$ و

$2\cos\beta \times \cos\alpha = \cos(\beta + \alpha) + \cos(\beta - \alpha)$ باین نتیجه میرسیم که موج غیر پلاریزه تشریح شده بوسیله رابطه ۳-۲۱ انطباق امواج در فرکانس $v_1 + v_2$ و $2v_1$ و $2v_2$ و $v_1 - v_2$ است.

چنین واکنش متقابل در فرکانس‌های $v_1 + v_2$ و $2v_1$ صادر شده در یک ماده با پلاریزاسیون غیرخطی ۳-۱۵ امکان ایجاد امواجی با مجموع فرکانس $(v_1 + v_2)$ و تفاضل $(v_1 - v_2)$ و بسامد دوبل $2v_1$ و $2v_2$ بوجود می‌آید.

ایجاد هارمونیک دوم در بلورهای غیرخطی

همانطور که ذکر شد تحت برخی شرایط موج غیرخطی پلاریزه (۳-۱۷) امکان ایجاد هارمونیک دوم نوری بوجود می‌آید. موج نوری ساطع شده‌ای با فرکانس $2v$ که در رابطه ۳-۱۸ مشخص گردیده.

در اینجا ما شرایط ایجاد را تشریح می‌نماییم - همانطور که میدانیم موج پلاریزاسیون در محیط با سرعت $V_1 = c/n(v)$ منتشر می‌گردد در حالیکه موج هارمونیک دوم با سرعت $V_2 = c/n(2v)$

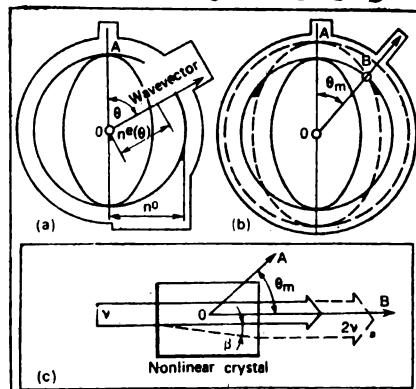
منتشر میگردد. حال برای آنکه انتقال انرژی از موج پلازماسیون به موج جدید موثر باشد میبایستی امواج از نظر سرعت با یکدیگر منطبق باشند و این، مستلزم برقراری رابطه زیر است.

$$n(v) = n(2v) \quad (3-22)$$

این رابطه موسوم به شرط افطاق فاز است. حال باید دید چگونه این شرط برقرار میگردد؟ جواب این پرسش تا حدودی جالب است. این شرط با توجه باینکه ضریب شکست بستگی به مسیر در بلور غیر ایزوتوپی دارد تعیین میگردد. همانطور که قبلاً تذکر داده شد یک موج نور که در یک بلور غیر ایزوتوپ منتشر میشود بدو موج تقسیم میگردد که هر یک با سرعت های مختلف حرکت میکنند. در یک گروه بلورهای غیر ایزوتوپی موسوم به بلورهای متعدد المحو ریکی از این امواج موسوم به موج عادی است و ضریب شکست آن مستقل از مسیر انتشار است. موج دیگر نور موسوم به موج غیر عادی است و ضریب شکست آن بستگی به مسیر انتشار نور دارد. هنگامیکه درباره مسیر انتشار صحبت میکنیم منظور ما مسیر بردار موج است که در هر لحظه بر موج جبهه‌ای عمود است. اختلاف رفتاری ضریب شکست در یک بلور غیر ایزوتوپی معقولاً بوسیله عبارتی موسوم به ضریب بیضیوی تشریح میگردد.

شکل ۹a-۳ نشان دهنده مقطعی از امواج (کروی) و غیر عادی (بیضوی) است. محور بیضوی OA محور نوری بلور متعدد المحو است. همانگونه که دیده میشود ضریب شکست در امتداد محور نوری یکسان میباشد. بنابراین یک موج نوری که در این مسیر

حرکت میکند به امواج عادی و غیر عادی تبدیل نمیگردد. در حالیکه بردار موج زاویه θ را با محور نوری بلور تشکیل دهد انشعاب ایجاد میگردد، زیرا بهنگام دور بودن از محور ضریب شکست موج عادی n^0 و ضریب شکست موج غیرعادی $n(\theta)$ میباشد. موج غیر عادی در صفحه ایکه از بردار موج و محور نوری عبور میکند پلازیزه میگردد (این صفحه دقیقاً در شکل ۳-۸a نشان داده شده) در حالیکه موج عادی بطور عمود بر این صفحه پلازیزه میگردد. قسمتی که سطوح ضریب شکست در شکل ۳-۸a نشان داده شده منطبق است با جزئی از فرکانس برخوردی نور.



شکل ۳-۸ ایجاد هارمونیک دوم در بلور غیرخطی.

حال فرض کنیم این فرکانس دو برابر شود. ضریب شکست معمولاً با فرکانس افزایش می‌یابد. بنابر این ابعاد، کره و بیضوی ضریب شکست نیز افزایش می‌یابند. شکل ۳-۸b نشان دهنده مقاطعی است از این سطوح که برای فرکانس ۲ رسم می‌گردند (خطوط ممتد) و خطوط مربوط به فرکانس دو برابر با خط منقطع رسم گردیده. اشکال بیضوی منقطع دارای مقاطعی بادوایر با خط

ممتد است . یکی از نقاط تقاطع نقطه B است . این بمعنی آنست که برای امواجی که در امتداد مسیر OB منتشر می شوند شرایط انطباق بصورت زیر است .

۲-۲۳

$$n^\circ(v) = n\epsilon(2v)$$

زاویه مخروطی ظاهرآ زاویه انطباق فاز می باشد . برای کلیه مسیرهایی که در این مخروط قرار می گیرند ضریب شکست معتمولی در فرکانس v معادل است با ضریب شکست در فرکانس $2v$. خلاصه : شرایط انطباق فاز برای امواج نوری که در بلور تحت زاویه Θ_m نسبت به محور نوری حرکت می کنند ، ایجاد می گردد و موج اولیه عمود بر صفحه ایست که در بر گیرنده بردار موج و محور نوری بلور است ، لذا این یک موج عادی است . نتیجتاً می بایستی بلور بنحوی که در شکل ۳-۸C دیده می شود برش داده شود (OA محور نوری و OB مسیر بردار موج است) هم چنین می بایستی نور برخوردی را که قطبی می گردد در نظر داشت . سطح صفحه حاوی بردار موج و محور نوری بلور است . موج دوم هارمونیک در این سطح پلاریزه می گردد . در حالیکه موج اولیه بطور عمومی بر این صفحه پلاریزه می گردد .

پیکان با خط ممتد نشان دهنده فرکانس اولیه v و پیکان با خطوط منقطع نشان دهنده تابش در هارمونیک دوم با فرکانس $2v$ است . شعاع نور هارمونیک دوم دارای جابجائی مختصراً است که با زاویه β نشان داده می شود و متسوم به زاویه غیر ایزوتوپی است (علیرغم این جابجائی بردار موج هارمونیک دوم دارای همان وضعیت

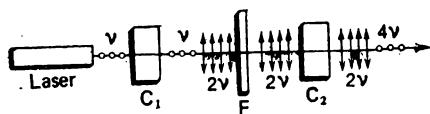
بردار موج اولیه در امتداد محور OB است) . این جابجایی ایجاد کاهش در نسبت موج هارمونیک دوم می نماید و موسوم به راندمان وارونه است .

ایجاد هارمونیک چهارم

هارمونیک چهارم را می توان با دو برابر کردن فرکانس هارمونیک دوم بنحوی که در شکل ۹-۳ نشان داده شده بددست آورد . یک شاع پلاریزه خطی در فرکانس از ν از داخل بلور C_1 عبور می کند تا ایجاد هارمونیک دوم 2ν را بنماید . این تابش وارد فیلتر F می گردد این فیلتر فقط هارمونیک دوم را از خود عبور می دهد و تابش در فرکانس اولیه ν را بر می گرداند . شاع فیلتر شده به بلور دوم C_2 که هارمونیک چهارم در آنجا تشکیل می شود ، وارد می گردد .

سطوح پلاریزاسیون امواج غیر عادی در بلور C_1 و C_2 نسبت به یکدیگر عمود می باشند . اگر موج اولیه بطور عمود نسبت به سطح صفحه پلاریزه شود ، محور نوری C_1 می باستی در این صفحه باشد ، در صورتیکه محور نوری C_2 می باستی متعلق به سطح راست گوش نسبت به صفحه باشد . در اینجا در می باییم که بلورهای غیر خطی را می توان نه تنها نسبت به هارمونیک های زوج بلکه هارمونیک های فرد فرکانس اولیه انتخاب نمود . برای مثال هارمونیک دوم ممکن است با فرکانس اولیه بروخورد و ایجاد سومین هارمونیک

را بنماید $v = 2v + v = 3v$ در اصل بلورهای غیر خطی را می‌توان جهت ایجاد هارمونیک‌های دلخواه مورد استفاده قرار داد. باید توجه داشت که شدت هارمونیک‌های بالا بسرعت پائین می‌آید. برای روشن شدن موضوع اشاره می‌کنیم به اینکه اگر راندمان وارونه برای هارمونیک دوم ۲۰٪ باشد این رقم برای هارمونیک چهارم که در شکل ۳-۹ نشان داده شده هر گز بیش از ۴٪ نخواهد بود. بنابر این قدرت خروجی برای هارمونیک چهارم فقط ۰.۰۴٪ قدرت تابش فرکانس اولیه خواهد بود.



شکل ۳-۹ ایجاد هارمونیک چهارم

مولدهای نوری هارمونیک

ایجاد هارمونیک نوری در عرض ۱۵ سال گذشته مورد تحقیق و گسترش قرار گرفته است. تعدادی از مولدهای نوری هارمونیک بصورت تجاری تهیه و در اختیار قرار می‌گیرند. در ساخت اینگونه مولدها از تکنولوژی پیشرفته و متنوع و مفید جهت ساخت مواد بلوری غیر خطی که ایجاد هارمونیک‌های دوم با راندمان ۲۰ درصد تا ۵۰

در صد ، استفاده می گردد . این بلورها دارای ظرفیت بالای قدرت و شفافیت در محدوده قابل توجهی می باشند . تعدادی از بلورها بشرح زیر می باشند .

پتانسیم هیدرژن فسفات - آمونیوم دی هیدرژن فسفات - سزیوم دی هیدرژن آرسنات - سزیم دی هیدرژن آرسنات - سزیوم دی دو تریوم آرسنات - لیتیوم نیوبات - باریم سدیم نیوبات . پیشرفت قابل توجهی نیز در گسترش تکثیر کننده های نوری فر کانس با استفاده از لیزر های $Nd:yaG$ حاصل گردیده این لیزرها در طول موج $1/064\text{ }\mu\text{m}$ میکرومتر که مولد بسیار خوب در منطقه مرئی (هارمونیک دوم $\lambda = 1/532\text{ }\mu\text{m}$) و در منطقه م او راء بنفش (هارمونیک چهارم $\lambda = 1/266\text{ }\mu\text{m}$) است کار می کند . مجموع فر کانس های حاصله از ایزر $G:yaNd$ و لیزر های زنگی آلی این امکان را بوجود آورد تا نور همدوس را در محدوده مهم آبی بنفش - محدوده ایکه در آن ایجاد نور همدوس بسیار مشکل است بطور عملی بدست آورد . ایجاد هارمونیک داخل محفظه ای با بلور غیر خطی تعییه شده در محفظه لیزر نیز بسیار گسترش یافته است .

تنظیم فر کانس با استفاده از نوسانات پارامتری

در قسمت های قبلی اشاره شد که دو موج نور در فر کانس های v_1 و v_2 که در یک محیط غیر خطی از خود واکنش نشان می دهند می توانند موج جدیدی را با فر کانسی معادل تفاضل دو فر کانس $v_1 - v_2$

ایجاد نماید. هم فازی در چنین حالتی مستلزم اینستکه برآیند دو بردار در فرکانس v_1 و v_2 معادل بردار موج در فرکانس v باشد. فرض کنیم هر سه بردار موج در یک جهت باشند. در اینصورت بردار موج K یک موج در فرکانس v بصورت زیر تعریف می‌گردد.

$$(3-24) \quad K = 2\pi v/v = 2\pi v n(v)/c$$

لذا هم‌فازی مورد نظر شکل زیر را بخود می‌گیرد.

$$(3-25) \quad v_2 n(v_2) + (v_1 - v_2) n(v_1 - v_2) = v_1 n(v_1)$$

باید توجه داشت – تابش هارمونیک دوم را می‌توان جزئی از دو موج نوری در یک فرکانس v در نظر گرفت. هم فازی در این حالت در برگیرنده مجموع بردارها در فرکانس v می‌باشد می‌باشد. فرض کنید کلیه بردارهای موج در یک مسیر و دارای شرایط ۳-۲۴ باشند. ما می‌توانیم شرایط هم فازی برای تولید موج هارمونیک دوم را نظیر رابطه ۳-۲۵ بصورت

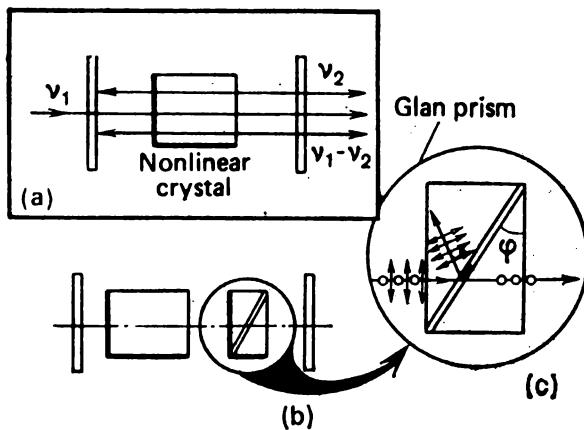
$$vn(v) + vn(v) = 2vn(2v)$$

بنویسیم که منجر به همان معادله ۳-۲۲ می‌گردد. حال فرض کنید یک بلور غیر خطی را در داخل محفظه قرار دهیم و آنرا طوری قرار دهیم که هم فازی برای v_2 و $v_1 - v_2$ منطبق با محور نوری محفظه باشد. در اینصورت بمحض رابطه ۳-۵ حالات فوتونی با انرژی v_2 و $(v_1 - v_2)hv$ حالات انتخابی می‌گردند. حال فرض کنید یک موج لیزر در فرکانس v (فرکانس پمپاژ) در امتداد محور مشدد باشد. موج پمپ می‌باشد آنقدر شدت داشته باشد که ایجاد القاء در رفتار غیر خطی بلور نماید و میزان کاهش را برای حالات

فوتونی بالا برد . علاوه بر آن همفازی مستلزم اینستکه موج پمپ برای این بلور غیر عادی و یا عادی باشد یعنی بطور تقریبی پلاریزه باشد . در اینصورت ارزی پمپ تبدیل به نور همدوس در فرکانس ν_2 و ν_1 می گردد موج در فرکانس $\nu_2 - \nu_1$ موسوم به موج ایدلر و از موج قوی پمپ در فرکانس ν_1 در اثر واکنش با موج ضعیف در فرکانس ν_2 (فرکانس زمینه ای موجود در محفظه) حاصل می گردد . بهمین دلیل تقویت موج در فرکانس ν_2 بوسیله موج پمپ در فرکانس ν_1 در اثر واکنش موج پمپ با موج ضعیف ایدلر در فرکانس $\nu_2 - \nu_1$ ایجاد می گردد .

چنین جریانی ایجاد پارامتر یک نور است . موج پمپ در فرکانس ν_1 تبدیل به امواج دیگر در فرکانس های ν_2 و $\nu_1 - \nu_2$ می گردد . نوسانگرهای پارامتری بطور عملی قادر هستند در حدود ۴۰ تا ۵۰ دز صد قدرت موج پمپ را تبدیل به علائم و خروجی ایدلر نمایند . ایجاد علائم و فرکانس های ایدلر از سطح علائم مزاحم شروع و بوسیله محفظه انتخاب می گرددند . باید توجه داشت که امواج تولید شده تا حدودی پلاریزه می باشند . برای مثال موج پمپ موج عادی و موج دیگر غیر عادی است . نوسان پارامتری وسیله مناسب و ساده ای برای تنظیم فرکانس خروجی است . در حقیقت فرکانس ν_1 پمپ بعنوان فرکانس نوسان لیزری ثابت است . تا زمانیکه انتخاب ν_2 بوسیله محفظه مطرح است ، می تواند هر مقداری را که حد بالای آن ν_1 است داشته باشد . فرض کنید ما در موقعیتی باشیم که مسیر همفازی را منطبق با ν_2 و ν_1 تنظیم کنیم . برای

این منظور می‌توانیم بسادگی بلور غیر خطی را بچرخانیم و زاویه Θ را بین محور نوری و محور نوری مشدד تغییر دهیم. در ازاء هر مقدار Θ یک ترکیب بین ω_2 و ω_1 وجود دارد که منطبق با مسیر همفازی است. با تغییر تدریجی Θ می‌توان پارامتری فرکانس ω را تنظیم نمود و نتیجتاً فرکانس ایدلر $\omega_2 - \omega_1$ راه ترکیبات مختلفی از نوسانات پارامتری شناخته شده وجود دارد. یکی از آنها در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده هر دو آینه مشدд در فرکانس ω شفاف است برای فرکانس‌های پائین‌تر، هر دو آینه سمت چپ بشدت شفاف است. در حالیکه آینه سمت راست دارای مقداری انعکاس است. این سیستم جزو مشددهای نوسانگر دو گانه تقسیم بندی می‌گردد و این بمنظور تأکید بر اینستکه بطور همزمان دو موج نوری را در علامت فرکانس‌های ایدلر تولید می‌کند. نوسانگر پارامتری منفرد فقط یک موج را تولید می‌کند. فرضاً در فرکانس ω_2 تابش و تابش ω_1 را بطور ماهرانه‌ای حذف می‌نمایند. برای چنین منظوری می‌توان از منشور گلان در داخل محفظه استفاده نمود (شکل ۱۰-۳) در اینحالت منشور گلان موج با فرکانس ω_2 را عبور داده و موج ایدلر با فرکانس $\omega_2 - \omega_1$ را دورمی‌کند. منشور گلان از دو بلور اسپار ایسلند (CO_3Ca) تشکیل شده که بوسیله فضای متعددالشکلی از یکدیگر جدا شده‌اند (شکل ۱۰-۳) محور نوری هر دو منشور نسبت به سطح صفحه عمود است ($\varphi = 38^\circ$) منشور موج نوری را که پلازیزه و عمود به سطح صفحه است عبور می‌دهد لیکن آنرا در حد فاصل دو بلور می‌شکند.



شکل ۱۰-۳-۸ نوسانگر پارامتری منفرد b— نوسانگر پارامتری دوگانه
— منشور گلان

اخیراً نوسانگرهای پارامتری از بلورهای غیر خطی نیوبات ساخته شده که بوسیله خروجی لیزر نشودمیوم پمپاژ می‌گردد. برای مثال یک نوسانگر پارامتری در این بلور بوسیله هارمونیک دوم لیزر Nd:yaG (در طول موج ۵۳۰ میکرومتر) پمپاژ می‌گردد. و برای محدوده ۵/۰ تا ۳/۵ میکرومتر با راندمان وارونه ۴٪ قابل تنظیم است.

قاریچه نور غیر خطی

پدیده غیر خطی در نور محدوده‌ای را در برمی گرد که در آن تغییرات رفتار محیط بوسیله عبور شاعر نور شدید القاء می‌شود. این قسمت بالاخص شامل تولید هارمونیک و تقویت پارامتری است که بحث آن بمیان آمد. پدیده‌های دیگر شامل رنگ بری است که در فصل سوم در ارتباط با مواد جاذب قابل اشباع مورد بحث قرار گرفت و هم چنین رفتار در محیط غیر شفاف نظیر جذب دو فوتون در نیمه هادیه است. اولین تجارت نور غیر خطی در سال ۱۹۲۵ هنگامیکه دانشمند فیزیک شوروی، اس - آی - واویلف و همکارش و - ل - لوشین نورشید یک جرقه را در پائین آمدن ضرب جذب شیشه اورانیوم بدست آوردند. این اولین تجربه حالت رنگ بری در محیط بود که بوسیله نور ایجاد شد. در آن زمان بعلت در اختیار نبودن نور شدید هم - دوسرانه تحقیقات بیشتری در این زمینه وجود نداشت. علیرغم این کمبودها اس - آی واویلف وقت زیادی را صرف مطالعه پدیده غیر خطی نور نمود، تحقیقات او در کتابی بنام ساختمان نور در سال ۱۹۵۱ منتشر شد. در این کتاب اصول و مشکلات و مسیر گسترش شاخه‌ای جدید از نور را که موسوم به نور غیر خطی است بیان داشت. ظهور لیزر در حقیقت تولد واقعی نور غیر خطی بود. در سال ۱۹۶۱ پی - آی - فرانکن فیزیکدان آمریکائی دومین هارمونیک نور را در بلور کوارتز مشاهده نمود. فیزیکدانان روسی، ر - و - خوخولف و س - آ - آخمالف شرایط ایجاد

پدیده مختلف نور غیر خطی را بالاخص در زمینه ایجاد هارمونیک بچاپ رسانیدند.

در همان زمان فیزیکدان آمریکائی، ج - آ - گیودمین و ر - و - ترهیون امکانات همفارازی را مطالعه نمودند. در سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۳ تحقیقات اولیه بسیار زیادی در زمینه نور غیر خطی به وسیله تیمی متشكل از دانشمندان روسی به سرپرستی خوخوائف و دانشمندان آمریکائی به سرپرستی ن - بلومبرگن صورت گرفت در سال ۱۹۶۵ نور غیر خطی گسترش یافته و بصورت شاخه‌ای موسوم به اپتیک مدرن درآمد.

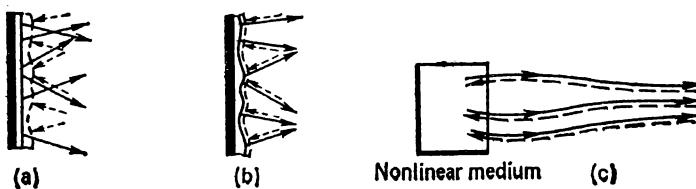
اصلاح موج جبهه‌ای خروجی لیزر

در این قسمت به یکی دیگر از زمینه‌های کاربردی نور غیر خطی که شامل اصلاح اتوماتیک موج جبهه‌ای لیزر است می‌پردازیم. مشکلات موجود: فرض کنید یک دستگاه لیزر تابشی با موج جبهه‌ای تقریباً مسطح با قدرت نسبتاً پائین تولید نماید. برای اینکه نیروی این لیزر را افزایش دهیم اشعه لیزر را از داخل تعدادی تقویت کننده کوانتمی (عناصر فعال که در آنها پمپاژ ایجاد جمعیت وارونه می‌نماید) عبور میدهیم. هنگامیکه خروجی لیزر این تقویت کننده‌های کوانتمی را قطع می‌کند قدرت آن بالا رفته لیکن بطور مشخصی درجه همدوسي آن پائین می‌آید. غیر همگن بودن مواد در این تقویت کننده‌ها و تغییر شکل‌های ایجاد شده در اجزاء آنها بواسیله فشارهای مکانیکی و گرمای را می‌توان بعنوان فاکتورهای اصلی نام برد که ایجاد حرکت غیر طبیعی موج جبهه‌ای را می‌نمایند. با افزایش تعداد مراحل تقویت کننده خروجی لیزر بیشتر تقویت می‌گردد. در همین حال موج جبهه‌ای بطور همزمان بیشتر از حالت طبیعی خود خارج می‌گردد. چنین تغییراتی بهنگام عبور شعاع نور از هر کانال ارتباطی نوری اجتناب ناپذیر است. حال این سؤال مطرح می‌گردد که آیا می‌توان این تغییرات جبهه‌ای موج را بهنگام عبور از کانالهای نوری اصلاح نمود؟ جواب این سؤال در حقیقت در ده سال گذشته با اختراع بازگرداننده موج جبهه‌ای در محیط غیر خطی ثابت می‌باشد این اختراع باعث شروع و گسترش رشته جدیدی در اپتیک پیشرفته

گردید. این رشته در برابر گیرنده کلیه سیستم‌های اپتیکی است و قادر است مشخصات موج جبهه‌ای را اصلاح و آنرا تغییر دهد.

تغییر جهت موج جبهه‌ای بواسیله آینه‌های غیرخطی: فرض کنید یک لیزر نوری را با موج جبهه‌ای تقریباً ساده تولید نماید. حال چنانچه این اشعه از داخل یک تقویت کننده عبور نماید بواسیله یک آینه ساده به عقب برمیگردد. هنگامیکه نور از داخل تقویت کننده عبور می‌کند تغییراتی در موج جبهه‌ای آن بوجود می‌آید. شکل ۳-۱۱ نشان‌دهنده چنین موج جبهه‌ای در مجاورت سطح آینه است (منحنی با خطوط منقطع) شعاع‌های این موج جبهه‌ای بواسیله پیکان‌های با خطوط منقطع نشان داده شده، هر شعاع که بواسیله آینه منعکس میگردد از قانون انعکاس تبعیت می‌کند. فرضاً زاویه برخورد و زاویه منعکسه با خلط عمود بر سطح انعکاس زاویه مساوی می‌سازند شعاع‌های منعکسه بواسیله پیکان‌های با خلط ممتد نشان داده شده. حال فرض کنید آینه سطح بواسیله یک سطح منعکس کننده جایگزین شود که دقیقاً مشابه موج جبهه‌ایست (شکل ۳-۱۱ b) چنین آینه‌ای دارای سطحی است که هر لحظه منطبق با موج جبهه‌ای واصله است که می‌توان آنرا آینه مناسب نامید. در اثر انعکاس از این آینه هر شعاع در امتداد همان خط برمیگردد. و تغییر جهت موج جبهه‌ای ایجاد میگردد. بدلیل آنکه مسیر اشعه در سیستم اپتیکی قابل برگشت است هر شعاع در چنین وضعیتی دقیقاً در حالتی که قبل اداشت به لیزر برمیگردد. از این‌رو در یک مسیر رفت و برگشت از داخل تقویت کننده شعاع نور همان موج جبهه‌ای خود را که از لیزر خارج گردیده بود حفظ می‌نماید. بامعکوس

نمودن موج جبهه‌ای، آینه مناسب ایجاد اصلاح لازم می‌نماید. نتیجه نهائی تولید یک اشعه قوی با موج جبهه‌ای اولیه با تابش شدید نور همدوس خواهد بود. مشکل موجود تهیه چنین آینه‌ایست که قادر باشد تغییرات موج جبهه‌ای را اصلاح نماید چنین آینه‌ای را میتوان بطريق نسبتاً ساده‌ای تهیه نموده نکته مهم اینستکه محیط غیر خطی میتواند موج جبهه‌ای را که باین محیط واصل گردیده معکوس نماید. بعبارت دیگر تحت برخی از شرایط محیط غیر خطی میتواند نظیر یک آینه مناسب عمل نماید. در این حالت نیازی به آشکار کردن تغییرات انجام شده موج جبهه‌ای نیست، آینه غیر خطی بطور اتوماتیک محاسبات لازم را جهت چنین تغییراتی انجام می‌دهد. بنحویکه هر شعاع در این محیط مسیر خود را دنبال نماید.



شکل ۳-۱۱- a- انعکاس از یک سطح b- آینه مناسب c- محیط غیر خطی

پدیده غیر خطی نور موج جبهه‌ای بازگشته

در اینجا دو پدیده را در نظر می‌گیریم، یکی پراکندگی تحریک شده بر روی امواج آکوستیک موسوم به (SBS) که تحت عبارت

Stimulated Brillouin Scattering

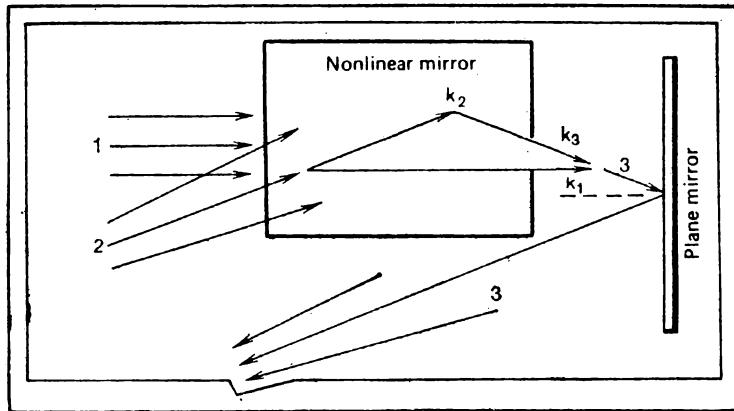
در یک محیط، موج نوربر روی امواج صوتی القاء شده بوسیله حرکت حرارتی ملکولها، در محیط پراکنده می‌شود. قابل توجه است که هنگامیکه یک موج نور بر روی یک موج صوتی که در همان مسیر حرکت می‌کند پراکنده می‌شود. فرکانس موج پراکنده بوسیله موج صوتی کم می‌شود. این جریان موج پراکنده به فیزیک‌دان انگلیسی استوکز نسبت داده می‌شود. بالعکس هنگامیکه موج نور بوسیله یک موج صوتی با جریان درجهت مخالف پراکنده می‌شود فرکانس موج پراکنده افزایش می‌یابد. این جریان موسوم به جریان آتنی استوکز می‌باشد. پراکندگی خود بخودی نور باعث افزایش هر دو جریان یاد شده می‌گردد. ایکن قدرت آنها در مقایسه با موج اولیه کم می‌باشد، پدیده دوم غیرخطی واکنش متقابل امواج نوری در محیط غیرخطی است شکل ۳-۱۲ را در نظر می‌گیریم. در این شکل موج ساده که با عدد ۱ نشان داده شده دارای بردار موج K و فرکانس ۲۷ این موج در یک محیط غیرخطی با موج فضائی غیرهمگن شماره ۲ که دارای بردار موج K و فرکانس ۷ است واکنش نشان میدهد.

در اثر این واکنش محیط غیرخطی موج شماره ۳ را که دارای

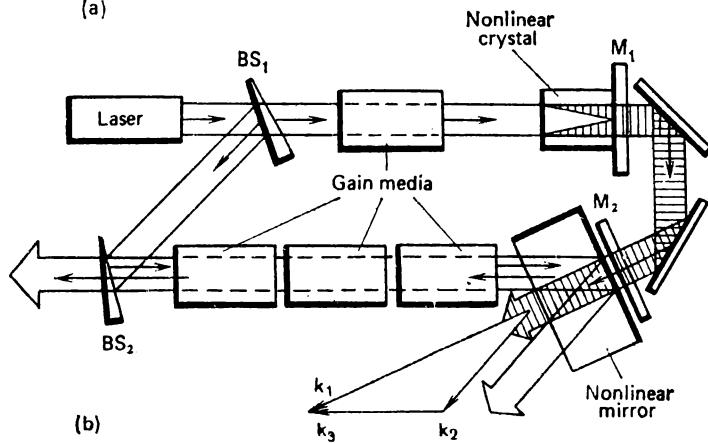
بردار موج K_3 و فرکانس ν است، تولید می‌کند. پس از انعکاس از یک آینه که بر K_1 عمود است آخرین موج تبدیل به موجی با موج جبهه‌ای معکوس (نسبت به موج ν) می‌گردد. بردارهای موج بنحوی قرار دارند که رابطه زیر برقرار است.

$$K_1 - K_2 = K_3 \quad (3-26)$$

طرح یک سیستم که قادر به ایجاد نور همدوس شدید است در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده منبع اولیه تابش یک لیزر با قدرت کم است که نور لیزر را با فرکانس ν تابش می‌کند.



(a)



(b)

شکل ۱۲-۳- a- برگردانی موج جبهه‌ای در اثر واکنش در یک محیط غیرخطی
b- نمونه یک سیستم لیزر تقویت گفته شده

تقسیم کننده نوری BS_1 نور را بدو قسمت با تابش مختلف تقسیم می کند مقداری از نور باشدت بیشتری عبور می کند در حالیکه مقداری از نور باشدت کمتر منعکس میگردد . شعاع اول در تقویت کننده تقویت میگردد و سپس هارمونیک دوم را در فرکانس ۲۷ در بلور غیر خطی تحریک میکند. آینه M_1 و M_2 در مقابل فرکانس ۷ کاملاً منعکس کننده و در مقابل فرکانس ۲۷ عبور دهنده می باشند.

درنتیجه هارمونیک دوم تقریباً بدون کاهش در محیط غیرخطی (که در اینجا قسمتی از نقش آینه غیرخطی را دارد) حرکت می کند. این موج در شکل ۳-۱۲a با عدد ۱ نشان داده شده و دارای فرکانس ۲۷ و بردار موج K_1 است. موج دوم نور که بواسیله BS_1 منعکس شده بواسیله تقسیم کننده دیگری که با علامت BS_2 نشان داده شده تقسیم میگردد و سپس از مراحل تقویتی عبور نموده و بعد از عبور از محیط غیرخطی بواسیله آینه M_2 مجدداً به این محیط منعکس میگردد این موج با عدد ۲ نشان داده شده و دارای فرکانس ۷ و بردار موج K_2 است که در شکل ۳-۱۲a نشان داده شده امواج ۱ و ۲ در محیط غیرخطی با یکدیگر واکنش نشان داده و ایجاد موج شماره ۳ با فرکانس ۷ و بردار موج K_3 است، می نماید. موج شماره ۳ در داخل تقویت کننده در جهت عکس نوری که از BS_2 واصل میگردد حرکت میکند و دارای موج جبهه‌ای عکس است درنتیجه خروجی حاصله از BS_2 یک موج تقویت شده در فرکانس ۷ و تقریباً موج جبهه‌ای ایده آل است.

ایجاد تغییر جهت در شعاع نور

کلیات یک شعاع نور را می‌توان بوسیله یک مجموعه مناسب آینه منشور، شبکه‌های انکساری و غیر انعطاف پذیر نمود. وسائلی که بدین منظور بکار برده می‌شوند موسوم به منکسر کننده‌های نوری هستند که به ذکر آنها می‌پردازیم.

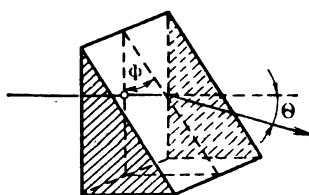
منکسر کننده‌های الکتروپتیکی : یک نمونه ساده از منکسر کننده‌هایی که بطور ممتد کار می‌کنند یک منشور سه گوش با الکتردهای فلزی است که در انتهای آن جهت ایجاد ولتاژ نصب شده این قسمت در شکل ۳-۱۴ بوسیله خطوط هاشوری نشان داده شده برای سهولت فرض کنید شعاع برخورد کننده بطور عمود به منشور اصابت نماید زاویه انکسار Θ بوسیله رابطه

$$3-27 \quad \Theta = \text{Arcsin}((m \sin \Phi) \Phi)$$

محاسبه می‌گردد که در اینجا Φ زاویه منشور و m ضریب شکست منشور است. از آنجا که ضریب شکست منشور تابعی از میدان الکتریکی خارجی است لذا میزان ضریب شکست Θ را می‌توان با تغییر ولتاژ تغییر داد.

منشور الکتروپتیک منکسر کننده از موادی با شفافیت زیاد در محدوده طول موج مورد نیاز با اثرات کافی الکتروپتیکی ساخته می‌شود. یک تغییر مناسب ضریب شکست با میدان الکتریکی بوسیله بلورهای پتانسیم تانتالات نیوبات که باعلامت اختصاری KTN و با فرمول شیمیائی $K\text{Ta}_x\text{Nb}_{1-x}\text{O}_3$ که در آن x بین صفر و یک تغییر می‌کند و

بلورهای باریوم تیتانات (BaTiO₃) ایجاد میگردد بلورهای KDP (KH₂Po₄) و KH₂(1-x)D_xPo₄ نیز مفید میباشند.



شکل ۱۳-۳ منکسر کننده ممتد الکترو اپتیکی

منکسر کننده های نوری صوتی

انكسار شعاع نور بواسیله منکسر کننده های نوری صوتی را میتوان در اثر شکست نور بواسیله امواج وراء صوتی در یک محیط انجام داد. در صورت قبول رابطه ۳-۷ خواهیم داشت.

$$\Theta = \text{Arcsin}(\lambda_2 \Lambda)$$

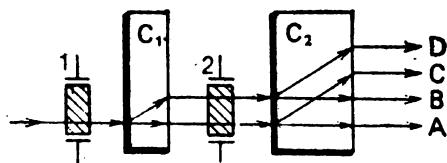
این زاویه را میتوان بتدریج با تغییر موج وراء صوتی و Λ تغییر داد. منکسر کننده های وراء صوتی از مواد شفاف و با ضریب شکست و فتوالسیسیته نسبتاً زیاد شناخته شده اند در اینمورد میتوان از مولیبدات سرب و پاراتلوریت استفاده نمود.

منکسر کننده‌های الکترولوپتیکی دیجیتالی

شکل ۴-۱۳ نحوه تنظیم نوری یک منکسر کننده نوری را که قادر است موقعیت فضائی اشعه را بصورت انتقال موازی در یک $S \mu m$ تغییر دهد نشان میدهد. پیکان هاشان دهنده مسیر و C_1 و C_2 بلورهای کریستال نظری CO_2 وارقام یک دو سلول های پکل هستند که صفحه پلاریزاسیون اشعه را تا 90° تحت میدان الکتریکی میچرخانند.

(یاد آور میگردد که میدان در هر دو سلول میباشد) تحت زاویه 45° نسبت به صفحه پلاریزاسیون شعاع اولیه باشند) تنظیم C_1 و C_2 بمحضیست که شعاع برخوردی برای آنها موج عادیست (بطور عمود نسبت به صفحه حاوی بردار موج و محور نوری بلور پلاریزه میگردد) هنگامیکه هر دو سلول فاقد انرژی باشند شعاع نور در عبور از C_1 و C_2 منکسر نمیشود و نظری موج عادی برای هر دو آنها عمل میکند و بنابراین سیستم رادر وضعیت A ترک میکند. هنگامیکه هر دو سلول دارای انرژی میباشند. صفحه پلاریزاسیون 90° در سلول شماره ۱ می چرخد و اشعه برای C_1 غیر عادی میگردد و در آن منکسر نمیشود. با چرخش صفحه پلاریزاسیون در سلول ۲ کریستال C_2 با آن نظری یک موج عادی عمل میکند و انکساری در آن ایجاد نمی کند. و نتیجه بصورت وضعیت B ظاهر میگردد. هنگامیکه سلول ۱ خاموش و سلول ۲ روشن است. اشعه منکسر کننده را در حالت C ترک میکند. و بالاخره هنگامیکه سلول ۱ روشن و سلول ۲ خاموش است وضعیت D احراز میگردد.

برای سهولت عمل ما خود را باین حالت دو مرحله‌ای محدود می‌کنیم. جهت حالت N مرحله‌ای تعداد موقعیت‌ها 2^N می‌گردد.



شکل ۱۴-۳- منکسر کننده الکترواتپیکی دو مرحله‌ای

فصل چهارم

کار بردهای لیزر

قبل از هر چیز باید توجه داشته باشیم مطالعه تأثیر واکنشی لیزر بر روی مواد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لیزرها بطور گستردۀ‌ای در مطالعات اساسی در رشته‌های فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند و کار بردهای بیشماری در زمینه‌های الکترونیک و پزشکی دارند.

تحقیقات در زمینه نور غیر خطی نمونه بارز از چنین مطالعاتی می‌باشد. همانطور که می‌دانیم قدرت تابش بالای لیزر می‌تواند بنحو قابل برگشتی تغییر کند. لیزرها امکان ایجاد غلظت نوری در پهنه‌ای بسازد باریک و هم چنین تنظیم فرکانس را در گستره قابل ملاحظه‌ای فراهم می‌سازند. بنابر این لیزرها منابع نوری مفیدی در تحقیقات طیف نوری مواد هستند. لیزرها دارای دقت فوق العاده زیادی

می باشند .

لیزرهای قابل تنظیم ارزش فوق العاده جالبی در تحریک ترازهای مختلف اتمها یا ملکوتها و یا حالت انتخابی برخی از افعالات شیمیائی را دارا می باشند . لذا امکان ایجاد واکنش های شیمیائی مورد نظر و کنترل و مطالعه مصووعی آنها بوجود می آید . ضربه های (PULSE) پیکو ثانیه ای حاصله از آنها امکان مطالعه فرایند سریع در برخی از مواد را بالا خواهد در رشته بیومدیکال را ایجاد نموده است . برای مثال به مطالعه اساسی فرایندهای فوتولاستیک اشاره می کنیم . این فرایندها دارای انواع نسبتاً پیچیده ای می باشند ، بالا خواهد

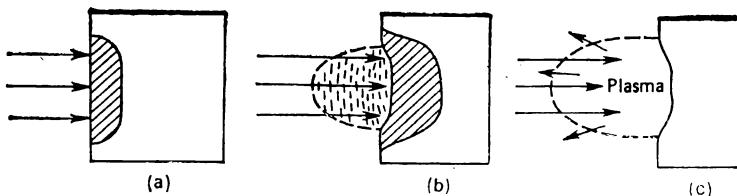
اینکه این فرایندها بسیار سریع و در محدوده زمانی پیکو ثانیه صورت می گیرند . بکار گیری تپه های فوق العاده کوچک امکان پیگیری گسترش چنین فرایندها و حتی طراحی مراحل جداگانه آنها را فراهم می سازد . امروزه لیزرهای نقش فوق العاده ای در تحقیقات را بهره دارند . بحث مفصل در باره این موضوع مستلزم بررسی برخی از مسائل نظری است و احتیاج به اطلاعات زمینه ای و اساسی خواننده در رشته فیزیک دارد . بنابر این بحث بعدی ما بطور محض متمرکز بر روی کاربردهای عملی بالا خواهیم گفت که لیزر خواهد داشت . کاربردهای لیزر را می توان به دو گروه تقسیم نمود یک گروه شامل کاربردهایی است که لیزر از نقطه نظر قدرت بکار گرفته می شود و شامل کاربروی مواد (نظیر جوشکاری - حرارت - برش - سوراخ کردن ...) جدا کردن ایزو توب ها ، معالجات پزشکی و غیره . گروه دیگر شامل ارسال اطلاعات ، اندازه گیری ها و کنترل کیفی می باشد . بهنگام

بحث در باره کاربردهای مختلف لیزر ناکید بر جنبه‌های اصلی سیستم است نه بر روی جنبه‌های خاص تکنیک.

تأثیر بر روی مواد

اثرات تابش لیزر قوی بر روی مواد: سیستم تمرکز نوری می‌تواند شعاع لیزر را در نقطه‌ای بقطر ده تا یکصد میکرومتر بر روی سطح ماده تمرکز نماید. در نتیجه تابشی بسیار بالا در یک نقطه کوچک در اختیار قرار می‌گیرد. چنانچه تابش لیزر ممتد با قدرت 10 kW در نقطه‌ای بقطر یکصد میکرومتر تمرکز یابد نتیجه تابش برابر 10^7 وات بر سانتیمتر مربع خواهد بود.

حال نگاهی به فرایند فیزیکی که در مواد مورد تابش لیزر با تابش زیاد حاصل می‌گردد می‌اندازیم. هنگامیکه تابش افزایش می‌یابد و به حدود 10^5 W/cm^2 می‌رسد مواد شروع به ذوب شدن می‌نمایند. با بالا رفتن انرژی نور در مواد مرز بین مایع و جامد بتدریج بسوی داخل ماده پیش روی می‌نماید (شکل ۴-۱-a)



شکل ۱-۴ تأثیر افزایش جگالی نیروی لیزر بر روی مواد a - مواد ذوب میگردند، b - مواد ذوب و تبخیر میگردند - c ایجاد پلاسمما

سطح ذوب نیز افزایش می‌یابد و از این‌رو انتقال گرما باهدایت حرارتی به لایه ضخیم‌تر ماده باعث تسريع در رسیدن به سطح ثابت می‌گردد:

در ترازهای بالاتر تابشی 10^6 تا 10^7 وات بر سانتیمتر مربع ماده شروع به جوشش و تبخیر می‌نماید. موادی که تبخیر می‌گردند در سطح ماده گودالی از خود بجا می‌گذارند که در اثر ادامه تبخیر بصورت یک حفره در می‌آید (شکل ۱-۶)

هنگامیکه تابش به میزان 10^9 W/cm^2 می‌رسد بخار حاصله یونیزه شده و ایجاد پلاسمای با درجه حرارت بالا می‌نماید. پلاسما بشدت جاذب نور است و این عامل از ورود نور به ماده جلوگیری بعمل می‌آورد (شکل ۱-۷) بنابر این بهنگام کار با مواد می‌باشست از ایجاد حالت پلاسما جلوگیری نمود. لذا شدت نیرو که

در مواد ایجاد می‌گردد زیاد بالا نیست . بحث ما تاکنون در باره قدرت تمرکز نور در فضای صورت گرفته است، میزان انرژی که بوسیله اشعه به سطح منتقل می‌گردد بستگی به تمرکز نیرو در زمان نیز دارد . خروجی مقطعی لیزر را می‌توان با تغییر طول طپش (PULSE) منفرد یا میزان تکرار طپش تغییر داد . فرض کنید تابش خروجی آنقدر زیاد باشد که نه تنها ایجاد ذوب نماید بلکه باعث ایجاد تبخیر شدید مواد گردد . در چنین حالتی چنانچه خروجی لیزر شامل طپش‌های کوتاه در حدود $7 - 10 \text{ تا}^8$ ثانیه باشد . چنین ضربه‌ای مقدار زیادی انرژی را در مدت کوتاهی به داخل ماده منتقل می‌کند . چنانچه انرژی ضربه ثابت باشد . مدت ضربه می‌بایستی چنان تنظیم شود که زمان کافی جهت ذوب و نفوذ بداخل ماده وجود داشته باشد .

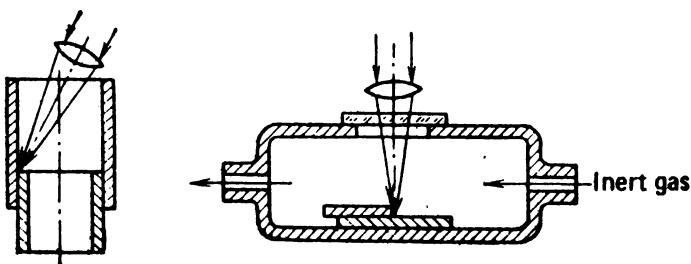
جهت کار کردن با مواد مختلف ، لازم است از میزان انرژی و نیز مقطع زمانی معین استفاده نمود . نظر باینکه ضربه‌های با قدرت کم لیکن پایدار ($3 - 10 \text{ تا}^2$ ثانیه) جهت انجام کارهای جوشکاری مناسب‌اند ، ضربه‌های شدیدتر و کوتاهتر ($3 - 10 \text{ تا}^4 - 10 \text{ ثانیه}$) جهت سوراخ کردن و ایجاد حفره‌ها که نیاز به تبخیر شدید مواد دارند ، مورد نیاز هستند . مشخصات طیف خروجی لیزر در اینجا از اهمیت برخوردار است . زیرا طول موج اشعه بیشتر از جذب سطحی مواد تعیین کننده میزان قدرت منعکسی نور است . علاوه بر آن یک شعاع نور با طول موج کوتاهتر را می‌توان در نقطه نورانی کوچکتر تمرکز نمود .

جوشکاری با لیزر

جوشکاری با اشعه لیزر بخوبی با سایر روش‌های موجود نظیر جوشکاری جرقه‌ای، جوشکاری مقاومتی و جوشکاری با شعاع الکترونی قابل رقابت است. بهتر بگوئیم این تکنیک از چندین مزایا برخوردار است و آنرا قابل ترجیح از جنبه‌های مختلف می‌سازد. این جوشکاری بدون استفاده از اتصالات است بنابراین امکان افزایش ناخالصی‌های نامطلوب در جوش وجود ندارد (بر عکس جوشکاری با شعاع الکترونی که در خلا انجام می‌شود)، جوشکاری با اشعه لیزر در آتمسفر صورت می‌پذیرد. استفاده از لیزر در جوشکاری این امکان را ایجاد می‌نماید تا جوشکاری در مناطق غیر قابل دسترس امکان پذیر گردد. از لیزر می‌توان در جوشکاری ترکیبات میکرو الکترونیک موجود در محفظه مملو از گاز خنثی (که بمنظور جلوگیری از اکسیداسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد) استفاده نمود.

جوشکاری با لیزر این امکان را ایجاد می‌نماید تا با سرعت و دقیق زیاد جوشکاری را در یک نقطه و یا در امتداد یک خط انجام داد. منطقه‌ای که مورد حرارت قرار می‌گیرد بسیار کوچک است. این یکی از مزایای بر جسته لیزر است که با آن می‌توان جوشکاری را در مجاورت اجزاء حساس نسبت به حرارت نظیر میکرو الکترونیک‌ها، انجام داد. دو نمونه خاص جوشکاری در مناطق دور از دسترس در شکل ۴-۲ دیده می‌شود. جوشکاری با لیزر دو مرحله از پیشرفت را

پشت سرگذاشته است . جوشکاری نقطه‌ای اولین پیشرفتی بود که با استفاده از لیزرهای ضربه‌ای جامد نظیر لیزرهای یاقوتی ، لیزرهای شیشه‌ای نشودمیوم صورت گرفت . سپس لیزرهای قوی Nd-yag و CO₂ با خروجی ممتد و ضربه‌ای جهت جوشکاری نازک با عمق در حدود چند میلیمتر بکار گرفته شد . امروزه جوشکاری تا عمق ۲ cm بطور عملی امکان پذیر می‌باشد .



شکل ۴-۲—جوشکاری با لیزر در نقاط غیرقابل دسترس

جوشکاری نقطه‌ای جهت جوشکاری‌های ظریف در محیط‌های حساس نسبت به حرارت مناسب می‌باشد . از نمونه‌های کاربردی این نوع جوشکاری اتصال سرب نیکل به آلیاژ نیکل در

ترانزیستورهاست . جوشکاری میله‌های نازک مس به یکدیگر و اتصال اجزاء میکرو الکترونیک را می‌توان نام برد . در جوشکاری ظرفی از قدرت خروجی چند صد وات جهت اتصال لبه‌تیغه‌های توربین گاز ، اتصال لبه‌های باریک و پرنده استیل به اره‌های برش فلز استفاده می‌شود سرعت‌های قابل حصول در جوشکاری با لیزر در حد ۱ تا ۳ متر در دقیقه و پهنای جوشها از ۰/۳ تا ۰/۶ میلیمتر می‌باشد . یکی از کاربردهای اخیر صنعتی جوش در زهاست که با اشعه پرقدرت ۱ تا ۱۰ کیلو وات صورت می‌گیرد . جوشکاری با لیزر در بکارگیری فرایندهای اتوماتیک و در خطوط تولید خودرو نظیر اتصال ورقه‌های تیتانیوم و آلمینیوم در کشتی سازی ، در ساخت لوله‌های خطوط اصلی بسیار مفید می‌باشد . جوشکاری مواد غیر فلزی نیز از کاربردهای جالب لیزر می‌باشد . شیشه‌های معمولی بوسیله لیزر با قدرت خروجی یکصد وات جوش داده می‌شوند . در حالیکه کوارتز احتیاج به قدرت خروجی سیصد وات جهت ذوب شدن دارد .

آثار حرارتی لیزر

قدرت خروجی لیزرهای قوی لایه سطحی قسمتی را که نور با آن اصابت می‌نماید بسرعت گرم می‌کند . هنگامیکه اشعه به سایر قسمتها جابجا می‌شود ، نقطه گرم شده بسرعت خنث می‌شود . از این روش در مورد سطوح فلزی استفاده می‌شود . اثر حرارتی لیزر دارای این مزیت است که می‌توان با آن بر روی سطوح مورد

نظر (نظیر قسمت‌های با پوشش بیشتر) تأثیر دلخواه گذاشت . برای مثال در صنعت خودرو در تقسیت بلوک‌های سیلندر ، چرخ دنده ، استوانه‌های فلزی و . . . از این اثر حرارتی استفاده می‌شود . اثر حرارتی با سرعت قابل توجهی با راندمان تقویتی و کمترین تغییر شکل بر روی جسم مورد نظر تأثیر می‌گذارد . از لیزرهای حرارتی می‌توان جهت پوشش سطحی آلیاژها استفاده نمود . پودر آلیاژ دهنده در سطح مورد پوشش قرار داده شده و هنگامیکه لیزر سطح را گرم می‌کند پودر ذوب شده و بصورت لایه نازکی سطح را می‌پوشاند . لیزرهاییکه جهت اثرات گرمائی بکار برد می‌شود اکثراً لیزر CO_2 است که بطور ممتد کار می‌کند .

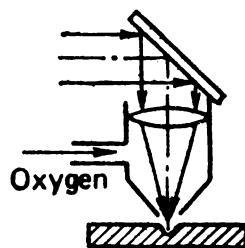
برش با لیزر

- کاربرد لیزر در این زمینه دارای مزایای زیاد است .
- دارای محدوده وسیع کاری بر روی موادی از قبیل کاغذ ، لباس ، چوب ، شیشه ، محصولاتی از قبیل پنبه نسوز ، سرامیک ، ورقه‌های فلزی ، می‌باشد .
- امکان برش دقیق و ظرفی
- حداقل تغییر شکل مکانیکی و صدمات حرارتی را بر روی نمونه مورد برش ایجاد می‌کند
- امکان ایجاد برش در دو یا حتی سه بعد (با توجه به پیچیدگی مقطع)

سهولت عمل و بالا بودن میزان تولید.

قدرت خروجی لیزر مورد استفاده جهت ایجاد برش بستگی به ماده مورد برش دارد. برای مثال تخته‌ای با ضخامت ۵۰ میلیمتر را می‌توان با لیزر CO_2 که دارای قدرت ۲۰۰ وات است با پهنه‌ای برش ۷/۰ میلیمتر برش داد. در حالیکه صفحه تخته چند لایه را می‌توان با لیزر CO_2 با قدرت ۸ kW با سرعت ۱/۵ متر در دقیقه برش داد. برش شیشه با ضخامت ۱۰ میلیمتر نیاز به قدرت خروجی ۲۰ کیلو وات دارد.

فلزات را می‌توان با لیزریکه دارای قدرت خروجی یکصد تا پانصد وات است برش داد. و چنانچه موادیکه تحت برش قرار گرفته‌اند مورد وزش فواره اکسیژن قرار گیرند در اینصورت برش با لیزر گازی امکان پذیر می‌گردد. (شکل ۴-۳) مقدار قابل توجهی انرژی



شکل ۴-۳—برش با لیزر گازی با استفاده از فواره اکسیژن

جهت برش بوسیله واکنش‌های اگزوترمال بین فلز و اکسیژن تامین می‌گردد . (سوختن فلز در فواره اکسیژن) . فواره اکسیژن فراورده‌های حاصله از برش و ذوب ناشی از برش را دور می‌سازد . در همین زمان حواشی قسمت‌های برباده شده سرد می‌گردد . بنابر این وزش اکسیژن قدرت مورد نیاز لیزر را پائین آورده و عمق و سرعت برش و کیفیت برش حاشیه‌ای را افزایش می‌دهد . جهت نشان دادن میزان کار بردهای برش بوسیله لیزر به ذکر دو نمونه می‌پردازیم . یکی از آنها برش لباس بوسیله لیزر در کارخانه‌های لباس دوزی است . سیستم برش شامل یک لیزر گازی CO_2 است که دارای قدرت خروجی ممتد ۱۰۰ وات را ایجاد می‌کند و با امکانات تمرکز و کنترل مسیر اشعه می‌توان با سرعت یک متر در ثانیه ایجاد برش نمود . اشعه در نقطه‌ای بقطر $2/0$ میلیمتر متراز کیز می‌گردد . چنین سیستمی قادر است قطعات لازم جهت پنجاه دست لباس را در یک ساعت تهیه کند قطعات با دقت زیاد و کیفیت خوب برش حاشیه‌ای برش داده می‌شوند . برش با استفاده از اشعه لیزر تکنولوژی در حال گسترشی است که در صنایع فضائی بالاخص در ساخت کشتی‌های فضائی بکار گرفته می‌شود . لیزر بطور اتوماتیک ورقه‌های تیتانیوم ، استیل ، و آلومینیوم را برش می‌دهد . یک لیزر ممتد با قدرت خروجی سه کیلو وات ورقه‌های تیتانیوم به ضخامت $5/0$ تا $5/3$ میلیمتر را به ترتیب با سرعت $5/0$ تا $5/3$ متر در دقیقه برش می‌دهد . استفاده از اکسیژن در برش لیزر گازی اجازه فرایند مشابهی را با قدرت کمتری (یکصد تا سیصد وات) می‌دهد .

سوراخ کردن با اشعه لیزر

ایجاد سوراخ بوسیله لیزر بستگی به تغییر مواد بوسیله طپش‌های قوی در محدوده زمانی بین 10^{-4} تا 10^{-3} ثانیه که انرژی بین 10^6 تا 10^7 وات بر سانتیمتر مربع را ایجاد می‌کند، دارد. برای مثال چگالی 10^7 وات بر سانتیمتر مربع را می‌توان با تمکن یک ژول در مدت یکصد میکرو ثانیه در یک نقطه بقطر $3/0$ میلیمتر بدست آورد. لیزر CO_2 جهت مواد فلزی و غیر فلزی (پلاستیک، سرامیک، شیشه) مناسب است. اشعه لیزر Nd.yaG تنها اشعه ایست که بوسیله مواد فلزی جذب می‌شود بنابر این با این اشعه می‌توان در ایجاد سوراخ بر روی فلزات استفاده نمود.

سوراخ کردن با لیزر دارای مزایای زیادی نسبت به ابزارهای رایج است. خالی از خطر و ترس از شکستن مته است. بالاتر از همه لیزر با دقت زیادی در هر مسیر مورد دلخواه ایجاد برش می‌نماید. برای مثال می‌توان سوراخهای با قطر بسیار کوچک $2/0$ تا $5/0$ میلیمتر را با عمق بسیار زیادی ایجاد نمود. سوراخ کردن مواد بسیار سخت امکان پذیر است. یکی از اولین کار بردهای لیزر بعنوان مته سوراخ کردن الماس است. باید توجه داشت سوراخ کردن معمولی مواد سرامیکی که بهنگام حرارت بسیار شکننده می‌باشند. می‌بایستی قبل از پختن صورت پذیرد و طبیعتاً پختن مواد سرامیکی ابعاد و موقعیت سوراخها را تغییر می‌دهد. سوراخ کردن با لیزر پس از پختن مواد سرامیکی صورت میگیرد و سوراخ کردن با لیزرفاقد هرگونه تغییراتی از نظر اندازه می‌باشد.

کاربردهای میکرو الکترونیک

لیزرهای کاربرد وسیعی در زمینه ترکیبات میکرو الکترونیک پیدا نموده‌اند. برای مثال جوشکاری در ساخت اجزاء مدارهای الکترونیک را می‌توان نام برد، یک شعاع کنترل شده دقیق می‌تواند یک مدار فیلم نازک را که شامل مقاومت‌ها و خازن‌های آن است آماده نماید. از لیزرمی توان جهت تهیه ماسک‌های نوری استفاده نمود. در اینمورد می‌توان از لیزر Nd:yaG که دارای قدرت یک کیلو وات است و دویست پاس نوری در نانو ثانیه ایجاد می‌کند استفاده نمود. هنگامیکه شعاع با سرعت ۲ میلیمتر در ثانیه حرکت می‌کند باریکه‌ای از فیلم را به ضخامت یک میکرومتر را بر روی ترکیب یاقوت ایجاد می‌کند و این باریکه بر روی ترکیب کاملا مشهود می‌گردد.

لیزر در پزشکی

اولین لیزرهای مورد مطالعه در بررسی آثار آنها بر روی مواد بیولوژیکی قرار گرفته‌اند. دلائل و مدارک فراوانی جهت بکارگیری لیزر در پزشکی وجود دارد. لیزرهای تجاری راه خود را به بسیاری از کلینیک‌ها باز نموده‌اند.

جراحی با لیزر

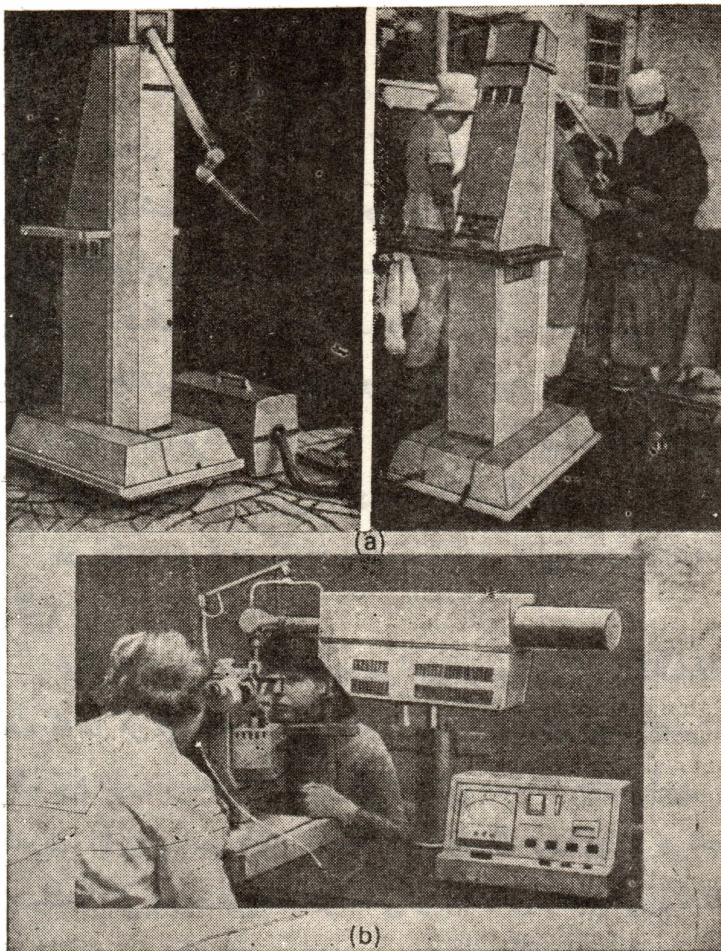
شعاع متصرف لیزر یکی از تیغه‌های جراحی است که قادر

است جراحی بدون خونریزی انجام دهد . زیرا نه تنها این اشعة ایجاد برش می نماید بلکه باعث جوش خوردن رگهای بریده شده می گردد . گذشته از آن این جراحی از نقطه نظر استریل بودن دارای ارزش زیاد است زیرا هیچگونه تماسی بین ابزار جراحی و بافت ایجاد نمی گردد . و بالاخره جراحی با لیزر فاقد درد است زیرا جراحی با سرعت زیاد انجام می شود و فرصت زیادی جهت ایجاد واکنش درد ناشی از برش وجود ندارد . امروزه استفاده از لیزر در جراحی امری عادیست و به سهولت می توان با استفاده از فیبرهای نوری عمل جراحی را انجام داد . فیبرهای نوری دارای انعطاف زیادی است و این امکان را فراهم می سازد تا تابش کننده لیزر در دسترس جراح قرار گیرد . تابش کننده حاوی یک سیستم عدسی جهت تمرکز نور می باشد (جهت اطلاع بیشتر به فصل ۶-۴ مراجعه شود) اشعة لیزر بدلیل سوزاندن در کنترل خونریزی رگهای خونی مؤثر است . بنابر این لیزرها جهت پائین آوردن کاهش های خونی بالاخص در بیماران با انعقاد خونی ضعیف بکار بزده می شود . از لیزرها در جراحی کبد و ریه و از بین بردن تومورهای بافت های پوستی بطور عادی استفاده می گردد . رایج ترین منبع لیزر CO_2 و آرگون می باشد یکی دیگر از زمینه های کاربردی جراحی با لیزر جراحی در چشم پزشکی است . سالیان است که در این جراحی از لیزرهای آرگون جهت اتصال پاره گی شبکیه استفاده می شود . اشعة پس از عبور از عدسی چشم بدون هیچگونه جذبی در نقطه معینی از شبکیه متمرکز می گردد . اشعة سبز رنگ لیزر بو سیله گلوبول های قرمز شبکه جذب و اثر

حرارتی آن منتهی به اتصال شبکیه می‌گردد. جراحی بوسیله طپش (پالس) نوری با مدت زمان کوتاه (۰/۰۱ ثانیه) بدون درد صورت می‌گیرد. اعمال جراحی دیگری که بوسیله لیزر صورت می‌گیرد جراحی کاتاراکت، تومورها و گلوکوم است. رایج‌ترین دستگاه جراحی چشم لیزر هیلیوم نئون است اثرات درمانی در زخمهای دیر التیام پذیر و شکستگیهای استخوان دارد. اثرات درمانی موارد یاد شده پس از چندین عمل تابش صورت می‌گیرد. دندانپزشکی یکی دیگر از شاخه‌های پزشکی است که لیزر در آن کار برد دارد و می‌تواند در بسیاری از موارد جایگزین مته دندانپزشکی گردد.

در چنین مواردی نتیجه مطلوب‌تر و عمل بدون درد انجام می‌گیرد.

شکل ۴-۴a یکدستگاه لیزر جراحی موسوم به (SKALPEL-1) است که در مرکز تحقیقات مؤسسه الکترونیک امکو جهت جراحی الیاف نرم مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دستگاه حاوی لیزر CO_2 با قدرت ۱۰ وات می‌باشد. دستگاه بطور گسترشده‌ای در جراحی پلاستیک شامل سوختگی‌ها جراحی و زخمهای وخیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. **شکل ۴-۴b** نشان دهنده یکدستگاه لیزر یاقوتی است که در همان مؤسسه در جراحی بسیار ظریف بافت‌های جلو چشم بکار برده می‌شود.



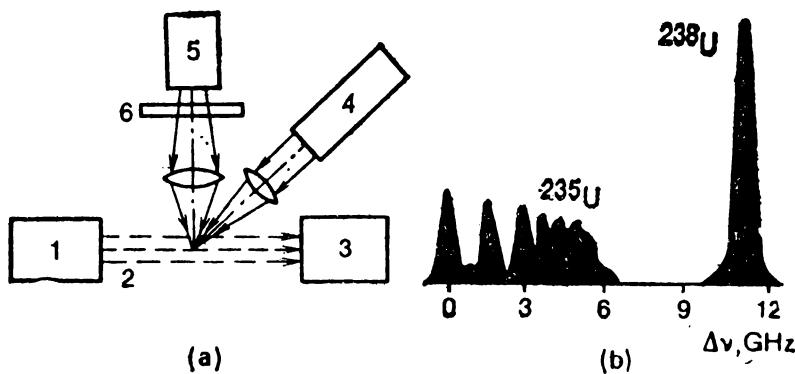
شکل ۴-۴ - a - دو تصویر از لیزر جراحی (Skalpel-1) b - جراحی چشم
با استفاده از دستگاه - Yatagan-2

جدا سازی ایزوتوپها

در کاربردهای مختلف صنعتی، پزشکی و تحقیقات نیاز به موادی هست که از نظر ایزوتوپ‌ها غنی باشند. در این‌مورد لازم است ایزوتوپها را به روش تحریک جدا نمود. این تکنیک‌هادر

مهندسی نیروی هسته‌ای از اهمیت زیادی برخوردار است . سنگت اورانیوم طبیعی دارای میزان قابل توجهی اورانیوم ۲۳۸ می‌باشد و تنها ۷/۰ درصد آن اورانیوم ۲۳۵ است . در حالیکه این جزء ناچیز نقش راه اندازی راکتور را بعده دارد . لازم است سوخت هسته‌ای حاوی ۳ درصد اورانیوم ۲۳۵ باشد . بهترین روش موثر بر اساس تحریک و جدا سازی با لیزر است و این جدا سازی براساس این واقعیت است که ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر دارای باندهای جذبی مختلف در طیف خود می‌باشند . این باندهای جذبی نسبتاً باریک و در طیف نیز به یکدیگر کاملاً نزدیک می‌باشند . بمنظور تحریک یک ایزوتوپ بدون تحریک ایزوتوپ دیگر می‌بايستی مخلوط آنها را با منبعی که دارای باند نازک متغیر کز بر روی ایزوتوپ مورد نظر است مورد تابش قرار داد . بنابر این لازم است این منبع قابل تنظیم باشد تا توان تابش را برروی طول موج مورد نظر تنظیم نمود . چنین وضعیتی را می‌توان با لیزرهای قابل تنظیم ایجاد نمود . فرض کنید مخلوطی از دو ایزوتوپ را داشته باشیم و بخواهیم یکی از آنها را جدا کنیم . برای این منظور می‌بايستی مخلوط را با یک لیزر قوی که در طول موج جذبی ایزوتوپ مورد نظر تابش می‌کند مورد تابش قرار داد . اتمهای تحریک شده این ایزوتوپ را به تراز بالاتر می‌برند ، در حالیکه ایزوتوپ‌های دیگر در حالت زمینه‌ای خود باقی می‌مانند . سپس تابش دیگری را به مخلوط می‌تابانیم بنحویکه بوسیله اتمهای تحریک شده جذب و آنها را یونیزه نماید . در نتیجه ایزوتوپ مخلوط را بصورت یونیزه داشته و با استفاده از میدان الکتریکی جریان مستقیم

قابل جدا شدن می گرددند . این یکی از اصول جدا سازی بوسیله لیزر است و موسوم به روش فوتوفونیزاسیون دو مرحله‌ای است . در روش دیگر جدا سازی انتخابی ترکیبات ملکولی نظربر هگزا فلورايد اورانیوم در جدا سازی ایزوتوپ اورانیوم ، بکار گرفته می شود . این ترکیب در اثر پمپاژ تجزیه شده و اتمهای تجزیه شده از خود واکنش‌های شیمیائی با ملکولهای دیگری که بهمین منظور در نظر گرفته شده‌اند نشان داده و حاصل آن شامل ایزوتوپ مورد نظر می باشد . این محصول جهت انجام آزمایشات بعدی جدا می گردد . نتایج حاصله از روش دو مرحله‌ای فوتوفونیزاسیون بهترین روش جهت جدا سازی ایزوتوپ اورانیوم می باشد . شکل ۴-۵a نشان دهنده چنین سیستمی است . شعاع اتمهای اورانیوم جدا شده از آلیاژ مورد تابش لیزر با طول موج $\lambda = 59154\text{nm}$ قرار گرفته و سپس بوسیله اشعه ماوراء بنفسش حاصله از لامپ جیوه مورد تابش طول موجهای $\lambda = 21\mu\text{m}$ و $\lambda = 21\mu\text{m}$ قرار گرفته و یونیزه می گردد . شعاع یونهای اورانیوم از اورانیوم ۲۳۸ در دستگاه اسپکترو متر جرمی جدا می گرددند . شکل ۴-۵b نشان دهنده باندهای جذبی هر دو ایزوتوپ اورانیوم است فاصله بین باندها بیش از 5GHz است . از آنجا که لیزر E_d دارای پهنای باند 1GHz است از پمپاژ ایزوتوپ مورد نظر حاصل می گردد .

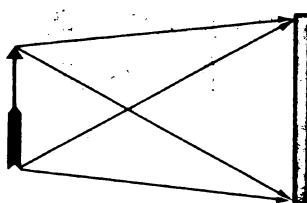


شکل ۴-۵ a - طرح جداسازی ایزوتوپ‌ها
b - طیف جذب ایزوتوپ اورانیوم .
۱ - گوره ۲ - شعاع آتم اورانیوم ۳ - دستگاه اسپکترومتر جرمی -
لیزر ۴-dyE ۵ - لامپ جیوه - ۶ - فیلتر

هولو گرافی نوری

(تهیه تصویر سه بعدی)

تشکیل تصاویر نوری : اجازه دهید یک شیئی اختیاری را در مقابل یک صفحه قرار داده و آن نور بتابانیم . شعاعهای نور منعکس



شکل ۶ - ۴

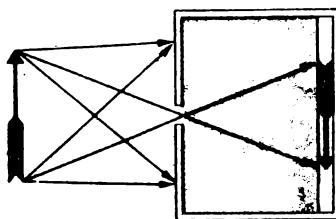
شده بوسیله هر یک از نقاط شیئی کلیه نقاط صفحه را روشن می سازد
(شکل ۶-۴).

شعاعهایی که بوسیله نقاط مختلف شیئی پراکنده می گردند در هم و برهم می باشند، درنتیجه صفحه کماییش بطور یکنواخت

روشن می‌گردد. تصویر شیئی هنگامی بدست می‌آید که شعاعهای نور بطریقی از پیچیدگی خارج و طرح شعاعهای پراکنده شده بواسیله جسم منظم باشند.

اطاقلک تاریک روزندهار

شعاعهای نورانی را می‌توان با آسانی با قرار دادن یک صفحه مات دریچه‌دار بین صفحه و شیئی منظم نمود. این طرح اطاقلک تاریک با یک دریچه است، که حاوی یک جعبه تاریک با یک روزنہ بر روی یکی از دیوارهای آن، در اینجا



شکل ۴-۷

دیوار مقابل روزنہ نقش یک صفحه را بازی می‌کند. هر نقطه شیئی تنها یک شعاع بازیک از داخل دریچه عبور می‌دهد که تصویر آن نقطه را بر روی صفحه تشکیل می‌دهد. از اینرو یک تصویر معکوس شیئی بر روی دیوار مقابل سوراخ دیده می‌شود.

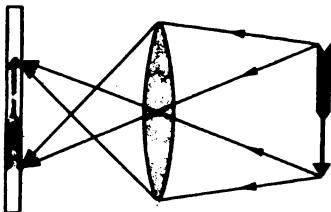
برای اینکه تصویر بوضوح مشخص گردد، دریچه می‌بایستی خیلی کوچک، دارای قطری در حدود بین $5/0$ تا 1 mm باشد. بدینهی است هر چه دریچه کوچکتر باشد، تصویر روشنائی کمتری دارد. باین دلیل جعبه مذکور را تاریک و شیئی را با نور شفاف مورد تابش قرار می‌دهند. اینگونه جعبه‌ها میزان ناصیحی از فلوی نورانی را که به وسیله شیئی منعکس می‌گردند مورد استفاده قرار می‌دهند بنابر این هر گز بطور گستردگی بعنوان پروژکتور تصویر بکار برده نمی‌شوند.

سیستم‌های عدسی

شکل ۴-۸ نشان می‌دهد چگونه با قرار دادن یک عدسی بین شیئی و صفحه تصویر، تمام شعاعهای نوری که از یک نقطه چشم پراکنده می‌شوند جمع آوری می‌گردند. در اینجا تصویر با یک فلوی نورانی بیشتر در مقایسه با جعبه تاریک دریچه‌دار، تشکیل می‌شود. یکی از عواملی که این فلوی نورانی را معین می‌کند قطر عدسی است. روش عکاسی براساس عدسی‌ها قرار دارد.

تصویر یک جسم که مورد عکسبرداری قرار گرفته بر روی یک صفحه عکاسی یا فیلم ثبت می‌گردد. جذب نور در لایه حساس نسبت به نور باعث ایجاد عکس‌العمل‌های شیمیائی و ایجاد تصویر نامرئی شده که با ظاهر کردن تبدیل به تصویر مرئی می‌گردد. تصویر بعداً ثابت و برای مدت طولانی نامعلومی باقی بماند.

چنین صفحه‌ای که دارای لایه حساس به نور مات است پس از انجام



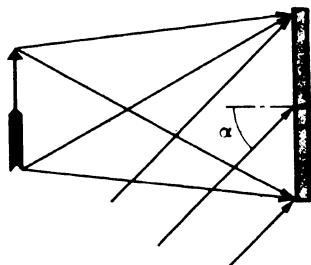
شکل ۴-۸

اعمال مناسب تصویر جسم را برای مدت طولانی نگه می‌دارد موسوم به فوتودتکتور است.

هولوگرافی

هولوگرافی اساساً یک روش جدید ثبت تصویر است. پیشرفت‌های حاصله در این زمینه در طول دهه گذشته بسیار شگفت‌انگیز است. منبع عبارت هولوگرافی را بعداً توضیح خواهیم داد. در اینجا به بحث درباره شکل ۴-۹ می‌پردازیم در این شکل یک شیئی در مقابل یک فوتودتکتور قرار دارد و بوسیله تابش نور همدوس که از یک لیزر ساطع می‌گردد مورد تابش قرار می‌گیرد. امواج منعکسه نور لیزر بوسیله جسم (موسوم به موج شیئی) بر روی پرده می‌افتد علاوه بر آن، موج دیگری (نور همدوس ساطع شده از همان لیزر) بطرف پرده هدایت می‌شود که موسوم به موج

نور کمکی است و در شکل نشان داده شده این موج یک موج تخت است که با زاویه به صفحه برخورد می‌نماید. شکل نشان می‌دهد که اشعه نوری که بواسیله شبیه پراکنده می‌شوند هنوز پیچیده (درهم و برهم) است: هر نقطه از شبیه نور را به تمام نقاط صفحه فتوود تکتور می‌فرستد. لازم است هیچگونه کوششی از طریق آزمایشگر نسبت به رفع این پیچیدگی شعاعهای نوری با استفاده از سایر وسایل (نظیر صفحه سوراخ دار یا عدسی) بعمل نیامده و سعی بر ایجاد نظم در نور پراکنده ننماید. هیچگونه نگرانی از این نظر که فوتوود تکتور با تصویر حاصله شبیه فیلمی است که بطور غفلت آمیزی در معرض نور قرار دارد، بخود راه ندهید. حتی قویترین چشمها از پیدا کردن کوچکترین اثری از تصویر شبیه عاجزند. این صفحه که ظاهرآ شبیه صفحه نگاتیو فاسد شده است، حاوی یک خاصیت بسیار تماشائی است: این صفحه تصویر مرموز جسم را در حافظه خود نگهداری می‌نماید. آشکار کردن این رمز (مرئی کردن تصویر) بسیار ساده است. تشکیل مجدد تصویر با تحت تابش قرار دادن صفحه نگاتیو (کلیشه) با یک موج همدوس معادل با اشعه کمکی



شکل ۴-۹

صورت می‌گیرد. موج می‌بایستی تخت و با زاویه به صفحه برخورد نماید.

هنگامیکه چنین شعاعی را متوجه سطح بظاهر نگاتیو فاسد شده نمائیم بطور معجزه آسانی سطح آن شفاف گشته و ناظر خود را در حالتی می‌بیند که به شیئی از داخل یک پنجره نگاه می‌کند. (سطح آن همان سطح فوتود تکتور است).

ثبت و بازسازی یک هولوگرام

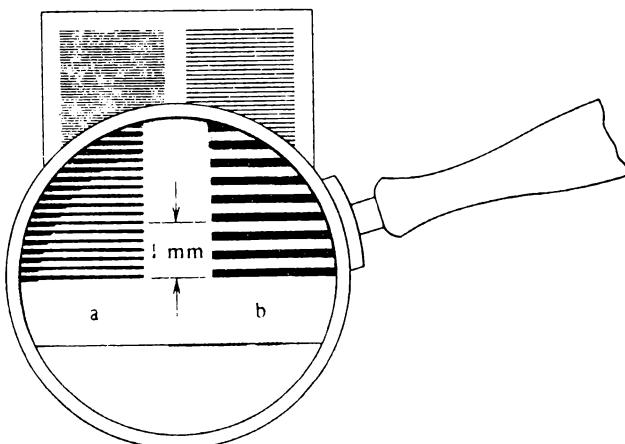
صفحه نگاتیو (کلیشه) موسوم به هولوگرام شیئی است. این کلیشه نقوش تداخلی حاصله از انطباق دو موج نوری همدوس را ثبت می‌نماید. یکی از آنها در اثر پراکندگی بوسیله (موج شیئی) دیگری موج کمکی است. هولوگرافی در حقیقت مبنی بر اصول تکنیک تداخل امواج بنا گردیده.

بنابراین رویت آن نیاز به امواج نوری با درجه بالای همدوسی دارد. زمینه تداخلی ثبت شده بوسیله یک هولوگرام ساختمان بسیار طریق و مفصلی دارد. حلقه‌های تداخلی در روی یک هولوگرام ممکن است با یکدیگر فاصله‌ای در حدود $1/000$ میلیمتر داشته باشند بهمین دلیل است جدائی فضائی مواد فوتود تکتور می‌بایستی بانداره کافی زیاد باشد تا بتوان چنین نقوشی را ثبت نمود.

جدائی فضائی بوسیله حداکثر تعداد خطوط موازی در واحد طول (معمولًاً یک میلیمتر) اندازه گیری می‌شود که می‌توان آنرا در

مواد متمایز نمود (شکل ۱۰-۴) دو حالت را با جدائی فضائی متفاوت نشان می‌دهد) در حالت a) جدائی فضائی دوبرابر حالت b) است. ثبت هولوگرام‌ها مستلزم اینستکه جدائی فضائی کمتر از ۱۰۰۰ خط در میلیمتر نباشد.

اطلاعات درباره شبیه در یک هولوگرام بصورت زمینه تداخل ثبت شده است. هنگامیکه یک هولوگرام بوسیله نورهندوس (لیزر) با طول موج معادل با موج کمکی مورد تابش قرار می‌گیرد، این موج به وسیله سیستم حلقه‌های تداخلی که در روی هولوگرام ثابت است مانند یک شبکه انعکاسی عمل می‌کند، پراکنده می‌شوند. پراکندگی تصویر شبیه را که بر روی هولوگرام ثبت شده دو باره سازی (قابل رویت) می‌نماید. توجه داشته باشید که شرایط تساوی



شکل ۱۰-۴

بین موج تابشی جهت رؤیت تصویر و موج کمکی شامل تساوی طول موجها نیست . ثبت و بازسازی هولوگرام می‌تواند بواسیله طول موجهای مختلف صورت پذیرد ، تأثیر آن تغییری است که در کیفیت بازسازی تصویر وجود دارد . در اینجا می‌بینیم هولوگرافی در مقایسه با روش‌های قبلی تشکیل تصویر دارای دو مرحله است . در اولین مرحله تصویر هولوگرافی برداشته می‌شود . (هولوگرام ثبت می‌شود) . در مرحله دوم تصویر شیکی هولوگرام بازسازی و قابل رؤیت می‌گردد . تشکیل (ثبت) هولوگرام بر اساس تداخل امواج نوری است ، در حالیکه بازسازی بر اساس پراکندگی امواج است . در خاتمه یک مطلب مهم روش تشکیل تصویر (هولوگرافی) را تاکید می‌کنیم ، که در حقیقت در برگیرنده اینستکه منظم کردن امواج نور برای بازسازی تصویر الزامی است . مراحل یاد شده را بطور خلاصه بشرح زیر عنوان می‌کنیم . (a) مرحله ثبت تصویر بر روی فوتودتکتور است (b) مرحله عملی که با تنظیم نور جهت بازسازی تصویر عملی می‌گردد .

هولوگرافی

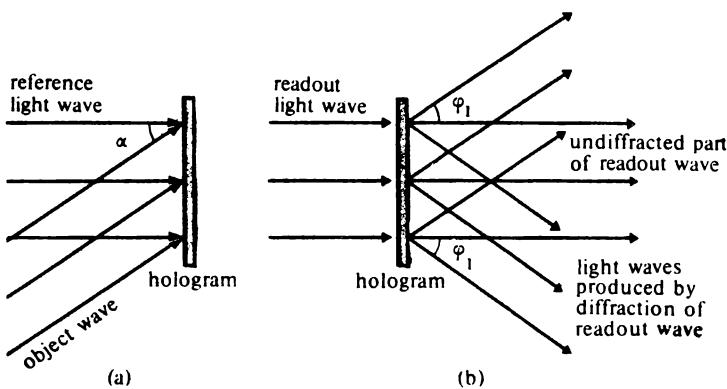
نمونه‌های ساده

نمونه شماره ۱ - نحوه ثبت هولوگرام در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است . هر دو موج در شکل امواج تکرنگ تخت با فرکانس مشابه هستند ، موج کمکی در امتداد عمود بر صفحه هولوگرام و موج شیشی تحت زاویه α بر آن می‌تابد ، تداخل دو موج تکرنگ که با زاویه α نسبت به یکدیگر حرکت می‌کند در فصل ۱ مورد بحث قرار گرفته . با بکار بردن معادله $d \sin \alpha = \lambda$ نتیجه می‌گیریم که هولوگرام یک نقش تداخلی را با فواصل بیک اندازه دور و موازی

$$\text{از یکدیگر با فاصله } (7-1) \text{ تشکیل می‌دهند .}$$

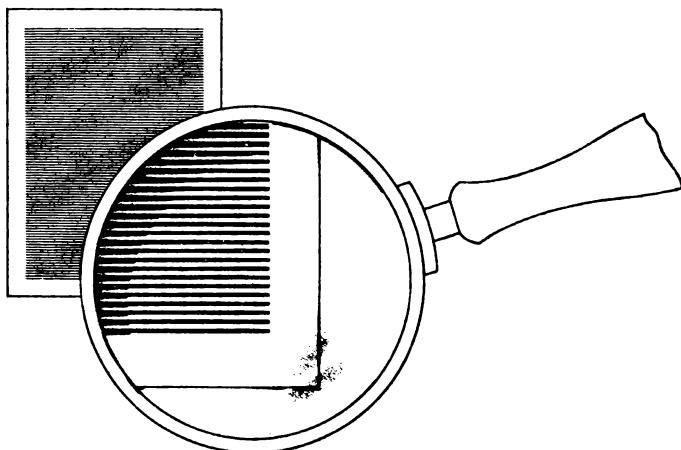
پس از مراحل عکسبرداری از هولوگرام (ظهرور ، ثبوت و شستشو) نتیجه حاصله در صفحه بصورت خطوط موازی (متناوب آناریک و روشن) است . یک چنین صفحه‌ای بعنوان شبکه انکسار با

فاصله زمانی می‌باشد که از فرمول (۷-۱) محاسبه می‌شود. این



شکل ۴-۱۱

فاصله تقریباً 100.0 میلی متر است. دریچه چنین شبکه‌ای را فقط در صورت بزرگ کردن آن می‌توان مشاهده نمود (شکل ۴-۱۲). هولوگرام مطابق باشیئی است که امواج تخت را منعکس می‌کند. یک آینه تخت با ابعاد کافی می‌تواند نقش چنین شیئی را ایفا کند. بنابر این می‌توان گفت در این نمونه ما با یک هولوگرام آینه تخت سروکار داریم.



شکل ۴-۱۲

مرحله بازسازی تصویر در شکل ۴-۱۱ b بوضوح دیده میشود.
انکسار موج در یک شبکه انکساری بوسیله فرمول زیر تشریح
می گردد.

$$ds \sin\varphi k = k\lambda \quad 4-1$$

در این فرمول d و φ و k و λ فاصله شبکه و نمایانگر زاویه بین خط عمود به صفحه شبکه و سور منکسر است.
میزان $K = d \sin\varphi$ منطبق با امواج منکسر نشده و $K = 1$ منطبق با دو موج
اصلی منکسر شده است. از باقیمانده امواجی که برای آنها $K \gg 1$ است بخاطر شدت کم آنها چشم پوشی می نمائیم. از معادله (۴-۱) رابطه زیر را برای امواج اصلی ماکزیمم بدست می آوریم.

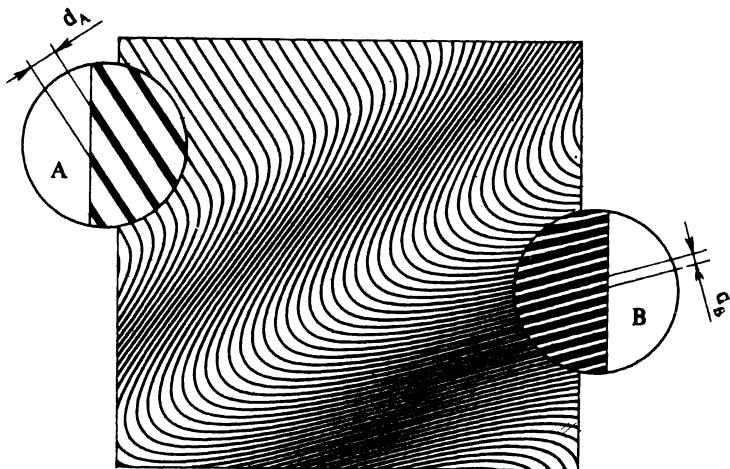
$$ds \sin\varphi_1 = \lambda \quad ۴-۲$$

زاویه انكسار معادل است با زاویه تداخل

در اینجا زاویه φ را (شکل ۴-۱۱b) بعنوان زاویه انكسار وزاویه ψ (شکل ۴-۱۱a) را بعنوان زاویه تداخل در نظر می گیریم. از مقایسه معادلات (۱) و (۴-۲) نتیجه گرفته می شود زاویه انكسار معادل است با زاویه تداخل . (۴-۳)

بديهی است که در حالت کلی زاویه تداخل در سطح هولو گرام تغيير می کند. لذا زاویه انكسار بهمان نسبت تغيير می نماید. نکته اساسی اينست که تساوي دو زاویه در هر نقطه هولو گرام برقرار است.

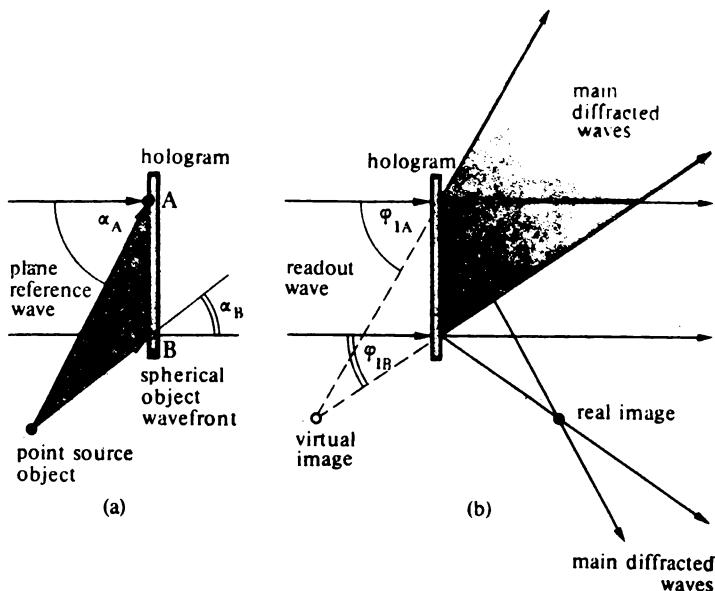
توجه داشته باشيد اگر بخواهيم دقیق شویم ، بجای يك نقطه منفرد می بايستی حداقل يك سطح کوچک را در هولو گرام در نظر بگيريم . پيچيد گی زمینه تداخلی هر قدر که باشد هر نقطه کوچک را می بايستی مانند يك شبکه انكساري با فاصله شبکه ای معينی در نظر گرفت . شکل ۴-۱۳ قطعه ای از زمینه تداخلی را که بر روی يك هولو گرام ثبت شده نشان می دهد . در اين شکل فاصله شبکه نزديك به نقطه A با d_A نشان داده شده ، در حال يکه در مجاورت B اين فاصله برابر d_B است .



شکل ۴-۱۳

نمونه شماره ۲۰ (هو لو گرام منبع نقطه‌ای) :

نحوه ثبت هو لو گرام در شکل ۴-۱۴a و مرحله بازسازی (ظهور تصویر) در شکل ۴-۱۴b مشخص گردیده . همانطور که در شکل ۴-۱۴b مشاهده می‌شود زوایای انکسار و تداخل در هر نقطه هو لو گرام با یکدیگر مساوی‌اند . چنانچه دو نقطه A و B را در شکل در نظر بگیریم بین زوایا روابط زیر برقرار است $\varphi_A = \alpha A$ و $\varphi_B = \alpha B$ شکل ۴-۱۴ نشان می‌دهد که دو تصویر از هو لو گرام مذکور بدست می‌آید یکی تصویر حقیقی و دیگری تصویر مجازی .

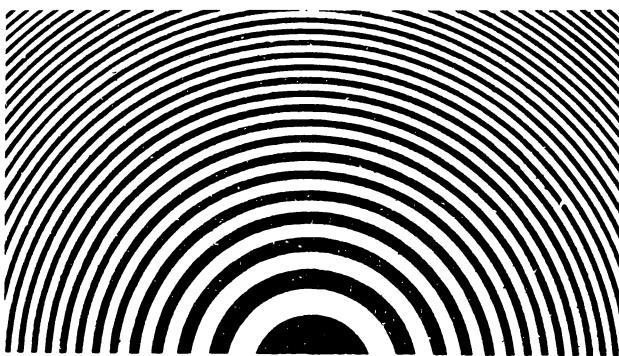


شکل ۴-۱۴ (b و a)

برای ناظر تصویر مجازی با توجه به هولوگرام در جایی قرار دارد که قبل از بوسیله شبیه در مرحله ثبت هولوگرام اشغال گردیده بود.

تصویر واقعی در این مورد قرینه تصویر مجازی (نسبت به هولوگرام یا امتداد آن) است. سیستم حاشیه تداخلی در هولوگرام یک جسم نقطه‌ای بسیار پیچیده‌تر از نمونه اول است. حواشی تداخلی مستقیم نیستند و فاصله بین آنها تابع زاویه برخورد شعاع نور شبیه بوده و متغیر است.

شکل ۴-۱۵ نمایانگر چنین زمینه تداخلی است



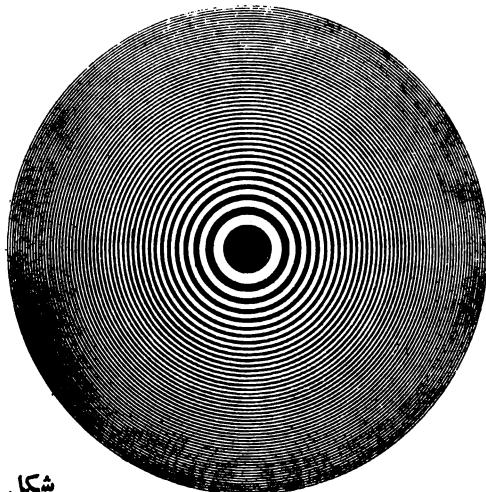
شکل ۴-۱۵

چنین هولوگرامی موسوم به صفحه حلقه فرنل می‌باشد . صفحه فرنل در اپتیک نامی آشناست . در ساده‌ترین حالت صفحه مت Shankl از مجموعه‌های از حلقه‌های متغیر تاریک و روشن است که بموجب فرمول خاصی هندامیک شعاع افزایش می‌یابد بتدریج بهنای آنها کم می‌شود . (شکل ۴-۱۵)

صفحه فرنل یک طرح تداخل امواج است که در اصل مشابه شبکه انکساری است . چنانچه یک موج نور به چنین صفحه‌ای برخورد نماید تداخل بین امواج مختلف که از دریچه‌های حلقه‌ای صفحه پراکنده می‌شوند نور را در نقطه‌ای پشت صفحه متمرکز می‌نماید . از اینرو چنین صفحه‌ای نظیر یک عدسی محدب عمل می‌کند . این خاصیت صفحه فرنل بخوبی شناخته شده است و لیکن بدلیل مشکلاتی که در ساختن آنها وجود دارد استفاده زیادی از آنها در اپتیک محدود نیست . (تعداد حلقه‌های مورد نیاز جهت تهیه یک عدسی خوب بسیار بالاست) .

هولوگرافی به روش ساده‌ای تهیه صفحات فرنل با کیفیت خوب را امکان پذیر می‌سازد.

صفحات فرنل در حقیقت هولوگرام یک منبع نقطه‌ای (شیئی نقطه‌ای) است. هولوگرام ارائه شده در شکل ۴-۱۵ واقعاً نظیر صفحه فرنل نیست که اگر با تغییر شرایط ثبت آنرا بتوان بدست آورد.



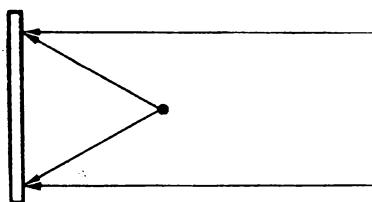
شکل ۴-۱۶

شیئی نقطه‌ای می‌باشد مطابق شکل ۴-۱۶ قرار داشته باشد. در این حالت هولوگرام بصورتی که در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده در خواهد آمد.

چنانچه فاصله شیئی تا صفحه هولوگرام با L و فاصله بین نقطه نظارت تا مرکز هولوگرام را با r نشان دهیم، و $\angle L > r$ باشد در این صورت از معادله (۴-۱) می‌توان پهنای حواشی تداخلی را بدست آورد.

$$d = \frac{\lambda}{\sin\alpha} \approx \frac{\lambda}{\tan\alpha} = \frac{\lambda L}{r} \quad 4-5$$

از این فرمول استنباط می‌گردد که پهنه‌ای حلقه‌ها با شعاع آنها نسبت معکوس دارد.



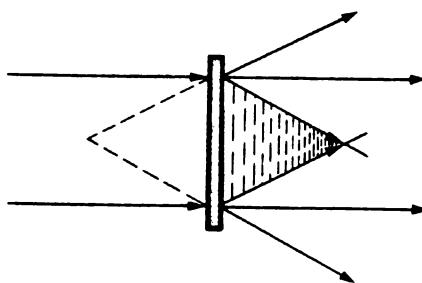
شکل ۴-۱۷

صفحه فرنل بعنوان عدسی

قبل‌اً اشاره نمودیم صفحه فرنل نظیر یک عدسی عمل می‌کند.

این مطلب را می‌توان هنگامیکه با این صفحه نظر هولوگرام یک شبیه نقطه‌ای رفتار کنیم، ثابت نمود. اگر چنانچه هولوگرام شکل ۴-۱۵ را بوسیله شعاع با طول موج مناسب مورد تابش قرار دهیم دو موج منکسره تولید می‌گردد یکی از آنها یک تصویر مجازی و دیگری یک تصویر حقیقی از شبیه ایجاد می‌کند. در شکل ۴-۱۸ تصویر مجازی با خطوط منفصل نشان داده شده. آشکار است که نمود رسم شده در شکل ۴-۱۸ منطبق بر حالتی است که در آن یک موج تخت که به

عدسی محدب اصابت می‌کند در یک نقطه متمر کز بگردد. یک هولوگرام از نوع صفحه فرنل دارای مشخصات تمرکز یک عدسی است از نمونه بالا نتیجه بگیرید: علاوه بر اینکه هولوگرام حاوی تصویر پنهان است. می‌توان از آن بعنوان انتقال دهنده امواج نورانی استفاده نمود. لذا یک هولوگرام نه تنها تصویر یک شیئی را بازسازی می‌کند بلکه این عمل را با یک موج نوری یا موج جبهه‌ای مناسب انجام می‌دهد.



شکل ۴-۱۸

لذا یک هولوگرام صرفاً طرحی است بر یک سطح هموار (حتی در موارد بسیار پیچیده) که بطور مصنوعی قابلیت دو باره ظاهر شدن را دارد.

یک هولوگرام موج جبهه‌ای (wavefront) را بازسازی می‌کند:

باز می‌گردیم به نمونه‌هایی که در تصاویر ۴-۱۱ و ۴-۱۴

نشان داده شده بین امواجی که در تهیه هولوگرام در هر دو حالت بازسازی تصویر (حقیقی و مجازی) ایجاد می‌گردد همیشه یک موج یکسان با موج شبیه وجود دارد.

همانطور که اشاره کردیم فاز بازسازنده نه تنها تصویر را بازسازی می‌کند. بلکه این عمل را بخوبی در مورد موج شبیه انجام می‌دهد. این حقیقت مستلزم توجه شایان است. یک موج را که از شبیه دور می‌شود در نظر می‌گیریم (شکل ۴-۱۴۹). یک ناظر هنگامی شبیه را رویت می‌کند که این موج را چشمانش دریافت کند. حال اگر شبیه را در هولوگرام ثبت کنیم و بعد شبیه را برداریم تحت تابش قرار دادن این هولوگرام بوسیله یک موج مناسب جهت رویت چندین موج را تولید می‌کند و در بین آنها همان موج شبیه را و اگر چنانچه شبیه را برداریم موج نورانی که بوسیله این شبیه پراکنده می‌شوند بازسازی می‌شود. نتیجتاً ناظر تصویر شبیه را (بگونه‌ای که جسم خودش تابش کند) دریافت می‌کند. بنابر این صحیح است بگوئیم یک هولوگرام نه تنها یک تصویر پنهان شبیه را، بلکه نور مربوط به شبیه را ذخیره می‌کند. گاهی گفته می‌شود که ضبط یک هولوگرام موج را منجمد می‌کند در حالی که بازسازی آنرا از حالت انجام درمی‌آورد.

انتقال از یک شبیه نقطه‌ای به یک تصویر سه بعدی

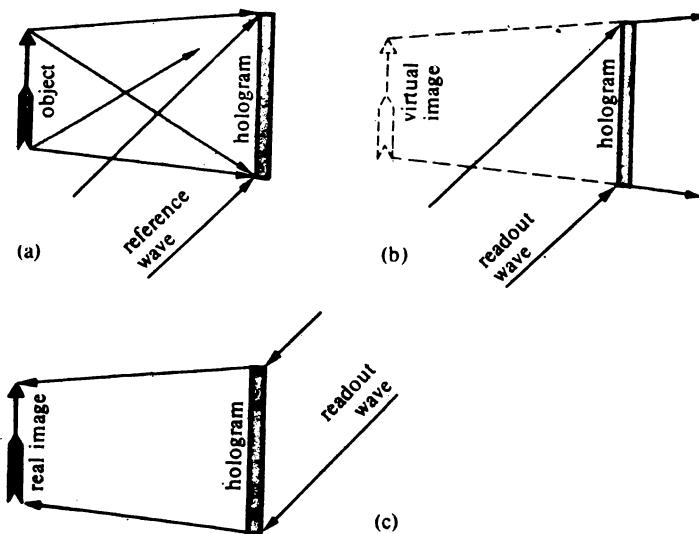
بدیهی است بحث درباره اختلاف بین شبیه نقطه‌ای (object

(Point) و تصویر نقطه‌ای (Point image) بسیار مشکل است . اشیاء سه بعدی (واقعی) می‌بایستی مورد توجه و بررسی زیاد قرار گیرند .

واضح است که بازسازی هولوگرام بستگی به این ندارد که جسم سه بعدی باشد یا نه . بنابر این نتیجه می‌گیریم اگر شیئی سه بعدی باشد ، ناظری که به تصویر بازسازی شده می‌نگرد یک تصویر دو بعدی نمی‌بیند (نظری عکاسی) بلکه آنچه او می‌بیند سه بعدی و واقع بینانه است ، بعبارت دیگر او چیزی را می‌بیند که شباهت بسیار به شیئی ضبط شونده دارد . اگر ناظر کمی‌سر خودرا کج کند ، اشیاء دیگر را در پشت شیئی اول یا سایر جزئیات را که قبلًا قابل توجه نبود می‌بیند . این بدان معنی است که چشم ناظر یک تصویر کاملاً واقع بینانه را دریافت می‌کند . طبیعی است بگوییم که یک هولوگرام یک تصویر سه بعدی شیئی را بازسازی می‌کند . این بدون شک صحیح است . گرچه این بیان تا اندازه‌ای ناقص است و امکانات هولوگرافی را تحت برآورده قرار می‌دهد . یک هولوگرام امواج واقعی شیئی را بازسازی می‌نماید که این عمل از حد تصویر عادی بالاتر و بصورت تصویر سه بعدی است . یک موج نوری واقعی چیزی است که می‌توان با آن کار کرد (برای مثال می‌توان از آن جهت تداخل با موج دیگر استفاده نمود) در حالیکه یک تصویر را می‌توان فقط ضبط نمود .

دو روش جهت بازسازی هولوگرام

انتقال از شیئی نقطه‌ای به شیئی سه بعدی را می‌توان با ایجاد مطابقت بین شیئی سه بعدی و مجموعه‌ای برای مثال سه نقطه از شکل بدست آورد. این نمایانگر اینستکه یک شیئی که بوسیله هولوگرام باز سازی می‌شود سه بعدی است. علاوه بر این ما در می‌باییم که تصویر مجازی تمام علائم مخصوص شیئی واقعی را دارد و تصویر حقیقی چنان بنظر می‌رسد که گوئی قسمتهای داخلی آن بیرون آمده بهمین دلیل است که نقاطی که از ناظر دور هستند نزدیک تر بنظر می‌رسند. چنین تصاویری را کاذب می‌نامند. اگر باز سازی هندسی را تغییر دهیم بدین طریق که موج تابشی: (رویت‌کننده) را از جهت مقابل شعاع کمکی ('reference wave') بتایانیم. در



شکل ۴-۱۹

اینحال تصویر واقعی بصورت نسخه کامل شیشه خواهد بود و این در حالیست که تصویر مجازی بصورت کاذب دیده می‌شود.
 بنابر این دو روش هندسی جهت بازسازی تصویر وجود دارد
 ۱ - موج تابشی رؤیت و موج کمکی مشابه باشند (این روش در کلیه نمونه‌های بحث شده بکار گرفته شده) ۲ - موج تابشی رؤیت

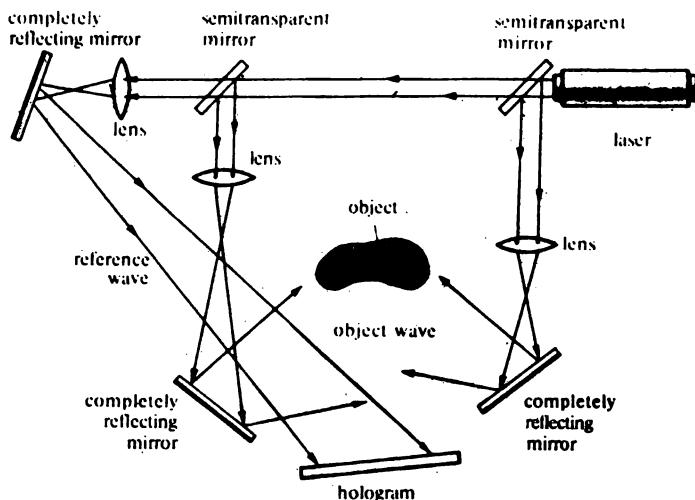
در جهت عکس در مقایسه با موج کمکی تاییده شود.

در روش اول می‌توان از تصویر مجازی و در روش دوم از تصویر حقیقی بهره برداری نمود. (۴-۱۹) a شکل هندسی ضبط هولوگرام b روش معمولی بازسازی C روش بازسازی معکوس.

آزمایشگاه هولوگرافی

جهت تهیه هولوگرام تنظیم‌های هندسی مختلفی وجود دارد یکی از تنظیم‌ها (با تابش دو جانبه) در شکل ۴-۲۰ نشان داده شده. لیزر منبع کلیه امواج نوری است که در این تنظیم بکاربرده می‌شود. آینه‌های نیمه شفاف نور لیزر را بدو قسمت تقسیم و بدینوسیله دو موج تشکیل می‌یابد که یک قسمت به شبیه می‌تابد و یک قسمت تشکیل موج کمکی را می‌دهند. اساساً هولوگرافی یک روش تشکیل تصویر بدون عدسی است، گرچه عدسی‌ها در چنین تنظیمی بکار برده می‌شوند، لیکن نقش کمکی داشته و مانند یک منبسط کننده شعاع نور عمل می‌کنند.

لیزر: لیزر یک دستگاه بدون جانشین در آزمایشگاه هولوگرافی است. در حقیقت همدوسی شدید و کافی برای منبع نور الزامی است.



شکل ۴-۳۰

درجه همدوسي مورد نياز جهت تابش ليزر بواسيله نوع شيشي مورد عکسبرداری و انتخاب تنظيم هندسي ضبط هو لو گرام دارد .
شرط زير مى بايستي برقرار باشد :

$$L \ll \tau c \quad ۴-۶$$

در اين رابطه τ زمان همدوسي و L حداکثر اختلاف طول مسیر برای دو موج در تنظيم انتخاب شده از ليزر تا هو لو گرام است .
برای تخمین L می بايستی کليه مسیرهای ممکنه شعاع در تنظيم انتخاب شده را بحساب آورد و ترسیم نمود ، و کليه انعکاسها و انکسارهايیکه در طول مسیر شعاع از ليزر تا هو لو گرام طی می شود

در نظر گرفت . شرط (۴-۶) همان شرط (۳-۱) می باشد . تداخل دو موج نوری در هر دو حالت مستلزم اینستکه اختلاف مسیر برای دو شعاع که به صفحه می رستند کمتر از طول رشته موج باشد یکی دیگر از شرایط لازم برای تابش لیزر اینستکه شدت آن باندازه کافی بالا باشد از طرفی حساسیت مواد نسبت به نور که جهت ضبط در هولو گرام بکار برده می شوند تعیین کننده زمان لازم جهت تابش است . در هولو گرافی اغلب لیزرهای گازی (بطور متداول لیزر هلیوم نئون) که بصورت پیوسته (CW) کار می کند . مورد استفاده قرار می گیرد . اگر چه همدوسی این نوع لیزرهای بسیار زیاد است ، لیکن قدرت تابش آنها در مقایسه ای با سایر انواع پائین می باشد . نتیجتاً زمان تابش می بایستی زیاد شود ، بنابراین نمی توان از اجسام متحرک هولو گرام تهیه نمود .

در هولو گرافی از لیزرهای جامد ناپیوسته نیز استفاده می شود . گرچه تابش آنها دارای همدوسی کمتر از لیزرهای گازی است ، لیکن دارای حداکثر قدرت هستند ، لذا این امکان بوجود می آید تا زمان تابش را پائین بیاوریم (برای مثال $^{ 3 } - ۱۰$ ثانیه) .

در هولو گرافی اجسام متحرک از تابش ناپیوسته استفاده می شود در خاتمه باید یاد آوری کنیم نیاز به همدوسی تابش لیزر را می توان با کم کردن شدت میدان مورد ضبط در هولو گرام و با جبران بهتر اختلاف مسیر شعاع ها کم نمود .

میز اندازه گیری : لیزر ، هولو گرام ، و کلیه عناصر نوری که در سیستم بسکار می روند (آینه های منعکس کننده ، عدسی ها ،

منشورها و . . .) در جائیکه از قبل بر روی میزاندازه گیری محاسبه گردیده و دارای وسعت کافی است (برای مثال 2×2 متر) ثابت گردیده اند .

اگر یک هولوگرام بوسیله لیزر گازی ضبط گردد ، میز اندازه گیری می باشی نیازهای مبرم را با توجه به امکان جابجایی عناصر هنگام تابش نور ، برآورد نماید وضعیت عناصر می باشی با دقیق 1nm ثابت گرددند . تجاوز از این حد باعث تیرگی زمینه تداخلی بر روی هولوگرام می گردد . ممکن است تصور شود ، یکبار که عناصر ثابت گردند هیچ چیز آنها را جابجا نمی کند . این اشتباه است ، عناصر در اثر لرزش دیوارها ، زمین و ساختمان جابجا می شوند . اغلب شهرها بخاطر ترافیک ، صنایع سنگین و غیره دارای چنین لرزش هایی می باشند .

گرچه چنین لرزش هایی قابل درک نیستند . معذالت وجود داشته ، و با وجود اینکه قابل اغماض هستند می توانند سکون میز هولوگرافی را درهم بریزند .

برای بر طرف کردن ارتعاشات ، وسائل نوری را بر روی پایه های باندازه کافی سنگین و لرزه گیر قرار میدهند .

مواد لازم جهت هولوگرافی

همانطور که اشاره شد موادی که جهت ضبط هولوگرام بکار می‌برند بایستی قدرت تفکیک ۱۰۰۰ خط در میلیمتر را داشته باشند، این به معنی جدائی فضائی زیاد است. یاد آوری می‌نماییم محلول کلودیون نوری عکاسی حاوی مقداری ذرات برومور نقره است که به صورت معلق در لایه ژلاتین شفاف قراردارد.

در نتیجه تصویر ظاهر شده حاوی لکه‌های منفصل است بنابر این تصویر قسمتهای کوچکتر از این لکه‌ها قابل تشخیص نمی‌باشند. لذا افزایش حساسیت نیاز به مواد عکاسی با ساختمان ظریف تر ذره‌ای دارد. باید توجه داشت که کم کردن ذرات بطور غیر قابل تغییری باعث از بین رفتن حساسیت می‌گردد (در واقع یک فوتون که بوسیله مخلوط معلق جذب می‌شود بر روی یک ذره تأثیر می‌گذارد حال چنانچه ذرات بیشتر باشند تعداد فوتونهای مورد نیاز برای ایجاد یک تصویر کمتر است) افزایش مواد عکاسی هولوگرافی با قدرت تجزیه زیاد در عین حال با حساسیت زیاد ساده نمی‌باشد. فیلم‌های عکاسی که امروزه در هولوگرافی بکار برده می‌شوند دارای قدرت تجزیه از ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ mm^{-۱} و حساسیت در حد ۱۰ ژول بر سانتی متر مربع می‌باشند، یک ماده آلی دیگری موسوم به فوتورزیست وجود دارد که قادر می‌سازد قدرت تجزیه ۳۰۰۰ mm^{-۱} در حساسیت ۱۰ ژول بر سانتی متر مربع بدست آید. صفحات عکاسی تجربی دیگری با ساختمان ذره‌ای حساس که

به حساسیت $1 - 5000 \text{ mm}$ دست یافته نیز گزارش گردیده.

آیا می‌توان یک هولوگرام را پاک نمود.

یک مطلب کوتاه و مشترک که در مورد کلیه مواد عکاسی وجود دارد اینستکه آنها را نمی‌توان مورد استفاده مجدد قرار داد. یک هولوگرام را که بر روی یک صفحه عکاسی ضبط شده نیز نمی‌توان پاک و هولوگرام جدیدی بجای آن ضبط و در نتیجه مواد عکاسی را بعنوان مواد قابل برگشت جهت ضبط دسته بندی نمود. ولی آیا موادی وجود دارد که بتوان هولوگرام ضبط شده را پاک و هولوگرام دیگری آن بر روی ضبط نمود؟ بلی چنین موادی وجود دارند. در اینجا اجازه دهید به ذکر چند نمونه پردازیم.

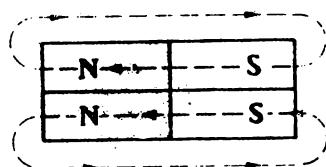
هولوگرام بر روی نوارهای مغناطیسی

اگر اشعه لیزر را بر روی برخی نقاط فیلم فرومینیتیک مغناطیسی شده بتابانیم و منطقه مورد تابش را تا درجه حرارتی بالاتر از نقطه کوری گرم کنیم. فیلم در این نقطه از حالت فرومینیتیک به حالت پارامینیتیک انتقال یافته و حالت مغناطیسی خود را از دست می‌دهد. هنگامی که تابش لیزر را قطع کنیم نقطه مورد بحث سرد شده و بحالت فرومینیتیک باز می‌گردد و بلافاصله بواسیله مناطق مجاور که مورد تابش قرار نگرفته‌اند خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کند مسلم است

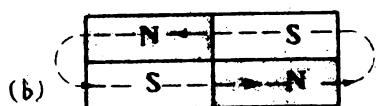
که در این حال جهت مغناطیسی منطقه تابش شده مخالف با جهت مناطق اطراف آن می‌باشد. دلیل آن با توجه به نمونه زیر روشن می‌گردد. دو میله مغناطیسی راست گوش را که بحالت لغزنده در یک سطح افقی در امتداد یکدیگر قرار دارند در نظر می‌گیریم این سیستم هنگامیکه قطب‌های مشابه این دو میله در مجاور یکدیگر قرار دارند ناپایدار است. (شکل ۴-۲۱ a) و هنگامی پایداری برقرار می‌گردد که قطب‌های مخالف به یکدیگر چسبیده شوند (شکل ۴-۲۱ b) زیرا در این حالت خطوط میدان مغناطیسی به یکدیگر نزدیکند.

از اینجا نتیجه گرفته می‌شود که تابش یک فیلم فرو مغناطیسی باعث جابجایی میدان مغناطیسی در نقاطی با تابش کافی می‌گردد. این روش را می‌توان برای ضبط کردن نقش برای مثال زمینه ای که بوسیله حلقه‌های تداخلی ایجاد می‌گردد بکار برد.

برای پاک کردن تصویر ضبط شده بر روی یک فیلم، کافی است میدان مغناطیسی خارجی را برآه انداخته و تمام قسمت‌های فیلم را در



(a)



(b)

شکل ۴-۲۱

یک مسیر انتخاب شده مغناطیسی نمائیم ، بعد از آن فیلم مجدداً برای ضبط یک هولوگرام آماده می گردد .

زمان لازم برای بدست آوردن یک هولوگرام بر روی مساد عکاسی از روی زمان صرف شده جهت ظهور و ثبott محاسبه می گردد .

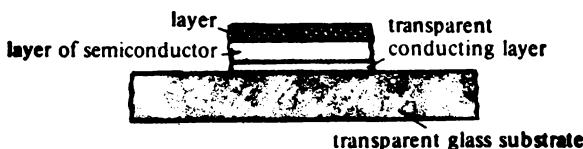
در مورد فیلم‌های مغناطیسی ، این زمان مدتی است که جهت حرارت دادن فیلم و تغییر میدان مغناطیسی صرف می شود . این زمان می تواند بسیار کوتاه کمتر از 10^{-7} ثانیه باشد . بدیهی است آن دسته از فیلم‌های فرومنتیک جهت ضبط هولوگرام مناسب‌اند که درجه کوری آنها نسبتاً پائین باشد . برای مثال فیلم منگنز بیسموت با درجه کوری 180×1000 (جدائی فضائی 1000 حساسیت نسبت به نور $2 - 10$ ژول بر سانتی متر مربع) بکار گرفته می شود .

هولوگرام بر روی فیلم‌های ترمoplastیک

ترموپلاستیک نام دی الکترونیک‌های شفاف مخصوصی است که در درجه حرارت‌های پائین نرم می شوند (برای مثال در درجه حرارت 50°C) یک هولوگرام را می توان بر روی یک سطح ترمoplastیک بصورت برجسته ضبط نمود . چنین هولوگرامی از خارج مانند یک صفحه گرامافون بتنظر می رسد . برای استفاده ترمoplastیک در ضبط هولوگرام ، یک فیلم ترمoplastیک را بر روی ماده‌ای که دارای دو لایه است (یکی از جنس سیم هنادی و دیگری هادی شفاف) قرار

می‌دهند.

ترتیب این لایه‌ها در شکل ۴-۲۲ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۲

یک هولوگرام بطریق زیر تهیه می‌شود.

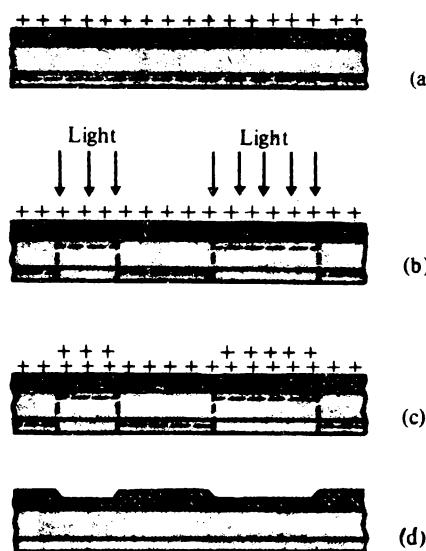
ابتدا تمام سطح فیلم ترمومپلاستیک بطور متعدد شکل در محوطه تاریک تحت تأثیر تخلیه تابشی قرار می‌گیرد. این عمل باعث ایجاد نوعی خازن می‌گردد که صفحات آن عبارتند از سطوح باردار شده ترمومپلاستیک و لایه هادی (شکل ۴-۲۳ a). مرحله بعدی تابش کل مجموعه بوسیله امواج منطبق شده کمکی و شیئی می‌باشد. در اثر هدایت فوتونی مقاومت نیمه هادی بسرعت افزایش می‌یابد تا آنجا که تداخل ماکریوم شکل می‌گیرد نتیجاً در فاصله بین صفحات خازن‌ها انقباضی حاصل می‌گردد (شکل ۴-۲۳ b). توجه داشته باشید که قدرت میدان داخل خازن تغییر نمی‌کند (این قدرت فقط بستگی به ظرفیت بار شده سطح دارد). در این حال کم شدن فضای بین صفحه‌ای در قدرت ثابت، موجب کم شدن اختلاف پتانسیل می‌گردد. از این‌رو پتانسیل سطوح مورد تابش کم می‌گردد.

سطح ترمومپلاستیک مجدداً باردار شده و لذا پتانسیل آن ذخیره و به حد اولیه در تمام سطح می‌رسد این امر باعث تمرکز

بار اضافی در سطحی که مورد تابش قرار گرفته می‌گردد. (شکل ۴-۲۳C)

بالاخره هنگامیکه سیستم حرارت داده می‌شود ماده ترمoplastیک نرم شده و نیروهای کولومبی بین بارها در سطح ترمoplastیک (به موجب قاعده پراکندگی بارها) رها می‌گردد. سرد کردن فیلم باعث نگهداشتن این حالت می‌گردد. (شکل ۴-۲۳D)

بدیهی است تشکیل هولوگرام بر روی ترمoplastیک مستلزم صرف دقت بیشتری در مقایسه با فیلمهای مغناطیسی دارد زمان ضبط در فیلمهای مغناطیسی در حدود $7 - 10$ ثانیه است که در ترمoplastیک به میزان $1 - 10$ ثانیه می‌رسد. جدائی فضائی در مورد حالت دوم می‌تواند به میزان $1 - 1000\text{ mm}$ می‌رسد. حرارت برای پاک کردن در ماده ترمoplastیک کافی است بنحوی که بعد از آن می‌توان یک هولوگرام جدید را بر روی این ماده ضبط نمود.



شکل ۴-۲۳

هولوگرام بر روی مواد فوتوفرمیک

مواد فوتوفرمیک شیشه هائی‌همراه با ناخالصی ویژه یا پلیمرهای آلی هستند این ناخالصی‌ها در نتیجه تحت تابش قرار گرفتن بواسیله محدوده خاصی از فرکانس نور (معمولًاً محدوده ماوراء بنفسن یا طول موج کوتاه‌تر از محدوده مرئی) تغییر رنگ داده یا شفاف می‌گردند، این تغییر رنگ بستگی به انتقال الکترون‌های اتم ناخالصی دارد که در اثر جذب نور ایجاد می‌گردد. برای نگهداری حالت اولیه مواد می‌بایستی یا حرارت با آنها داده شود یا مورد تابش نور با فرکانس پائین تراز قرار گیرند. معمولًاً مواد فتوکرومیک

از نور مرئی مخفی نگهداشته و بوسیله نور مادون قرمز شستشو داده می‌شوند. مواد فتوکرومیک بخاطر بالا بودن قدرت تفکیک فضائی 3000 mm^1 بسیار قابل توجه هستند.

فوائد و امکانات هولوگرافی

مقایسه یک عکس و یک هولوگرام : در اولین نظر یک عکس معمولی بر یک هولوگرام برتری دارد . در واقع یک عکس همه چیز را بوضوح نشان می دهد در حالیکه در یک هولوگرام چیزی را نمی توان دید . هولوگرام را جهت دیدن تصویر می بایستی مورد تابش بوسیله اشعه لیزر قرار داد .

این البته به معنی مشکلات مختصصری است که وجود دارد و بنظر می رسد تصاویر معمولی (جهت کارهای معمولی روزمره) به تصاویر پنهان که در هولوگرام ضبط است برتری دارند . لیکن وضعیت در علوم و تکنولوژی کاملاً متفاوت است .

در اینجا باید گفت مشخصات مرسوم و پنهان تصاویر است که منشاء عوامل بالقوه آنهاست ، یک هولوگرام ما را قادر می سازد که یک موج واقعی نور را بازسازی نموده و این امکان را بوجود می آورد که میدانهای نوری را زیر نفوذ درآوریسم (چیزی که مطلقاً در عکاسی امکان پذیر نیست) . بعلاوه ، یک تصویر بازسازی شده بوسیله هولوگرام با تصویر عکاسی از نظر سه بعدی بودن اختلاف

داشته ، واقع بینانه ، حقیقی و طبیعی بنظر می رسد .

هولوگرافی به معنی ضبط کامل است

یک موج نور را می توان مانند یک انتقال دهنده اطلاعات در نظر گرفت که بصورت پارامترهای موج نشان داده می شود . بسیار ساده است که اطلاعات محتوی دامنه موج و اطلاعات محتوی در فاز موج (شکل موج جبهه ای) را از یکدیگر متمایز نمود .

در اینجا اجازه دهید که در مورد بدست آوردن اطلاعات از یک موج نور و ضبط اطلاعات که بوسیله این موج در یک محیط انتخاب شده انتقال پیدا می کند ، بحث کنیم . در اینجا ابتدا تأکید می کنیم که یک فتودتکتور شدت یک موج نوری را با حساسیتی مناسب با مربع دامنه موج ، ضبط می کند . این بدان معنی است که فتودتکتور (آشکار کننده فوتونی) فقط اطلاعات مربوط به دامنه موج را بدست می آورد و اطلاعات مربوط به فاز بوسیله آن تلف می شود .

اگر ما بخواهیم علاوه بر اطلاعات مربوط به دامنه ، اطلاعات مربوط به فاز را بدست آورده و ضبط کنیم ، می بایستی زیر کانه عمل کنیم .

بدین معنی که می بایستی امواج نورانی بسازیم که ضمن انتقال اطلاعات با موج کمکی دیگری تداخل نماید . باید توجه داشت دامنه مجموع موج ها بستگی به فاز نسبی امواج اولیه کمکی دارد . بنابر

این فتو دتکتور شدت بر آیند موج را ضبط و در همان زمان نه تنها دامنه را بلکه اطلاعات مربوط به فاز موج تجزیه شده را ضبط می‌نماید . روش هولوگرافی براساس این تدبیر بنا گردیده که با بکار گرفتن تداخل امواج می‌توانیم ، موج شیئی را باز یافته بر روی فتو دتکتور کلیه اطلاعات عملی شامل دامنه و فاز در باره شیئی را بدست آوریم .

لذا انتخاب و عبارت هولوگرافی که ریشه یونانی داشته و بمعنی ضبط کامل است ، تصادفی نمی‌باشد . در اینجا تأکید می‌کنیم که چنانچه یک هولوگرام نتواند کلیه اطلاعات انتقال یافته بوسیله شیئی را در حافظه خود نگهدارد . بازسازی موج شیئی واقعی از هولوگرام در اصل غیر ممکن خواهد بود . روش بازسازی موج شیئی بوسیله هولوگرام در حقیقت نوعی از انجماد در آوردن امواج نوری است .

ارزیابی اطلاعات ذخیره شده در هولوگرام

در اینجا بذکر نمونه‌ای جهت ارزیابی اطلاعات ذخیره شده در هولوگرام می‌پردازیم . گروهی برسم یادگار در یک دیدار مبادرت به تهیه عکس و سپس هولوگرام از یک دیدار دوستانه می‌نمایند این عکس‌ها و هولوگرام تهیه شده برای مدت‌های طولانی در گوشاهای پنهان مانده سپس در اثر آتش سوزی حدود $\frac{1}{4}$ از هر دو نمونه سوخته

و از بین میروند ، بعد از مدتی الزاماً یکی از افراد این گروه شناسائی می‌گردند در بررسی عکس ملاحظه می‌گردد که تصویر فرد موردنظر قابل تشخیص نیست سپس هولوگرام را که قسمتی از آنها سوخته بود مورد تابش بوسیله اشعه لیزر قرار داده و تصاویر کلیه افرادی که در ملاقات حضور داشتند ظاهر گردید . از این تجربه نتیجه گرفته می‌شود ، از بین رفتن قسمتی از یک عکس باعث از بین رفتن قسمتی از اطلاعات موجود در آن قسمت می‌گردد . در حالیکه از بین رفتن یک قسمت از هولوگرام هیچ تأثیری در تصویر بازسازی شده نخواهد داشت . در واقع شکل ۴-۱۴۵ نمایانگر اینستکه تصویر یک نقطه در تمام قسمت‌های هولوگرام ضبط می‌گردد . بدیهی است این مطلب در مورد تمام نقاط شیئی واقعی صحت دارد . لذا می‌توان گفت هر نقطه‌ای نظیر آن تنها بر روی تمام هولوگرام ضبط می‌گردد و نه بر روی یکی از نقاط آن نتیجتاً از بین رفتن قسمتی از یک هولوگرام ، قسمت خاصی از تصویر را در بازسازی پاک نمی‌کند .

در بررسی‌های عملی نشان داده شده که تا $\frac{9}{1}$ یک هولوگرام

را بدون نقص قابل توجهی می‌توان از آن جدا نمود ، تنها اثر نامطلوب کم شدن قدرت تفکیک بر روی کل تصویر (بمعنای از بین رفتن جزئیات ظریف در تصویر بطور کلی) است .

در واقع این تعجب آور نیست که در تصویر موج شیئی را بجای تصویر شیئی بازسازی کنیم . سطحی از هولوگرام که مورد تابش قرار گرفته نشان دهنده سطحی است که موج جبهه‌ای آن مورد

بازسازی قرارگرفته است. انقباض سطح مورد تابش قرارگرفته معادل با انقباض موج جبهه‌ای می‌باشد (گوئی ، به منظرة دوری از دریچه‌ای که بتدربیج کوچک می‌شود توجه می‌کیم) .

از بین رفتن نسبتاً کمی از سطح موج جبهه‌ای بر روی تصویر حاصل تأثیر زیاد نمی‌گذارد . ولی چنانچه این میزان بیشتر شود قدرت تفکیک کم می‌شود .

بنابر این یک هولوگرام وسیله قابل اعتمادی جهت ذخیره و نگهداری اطلاعات بسیار با ارزش می‌باشد .

اطلاعات ضبط شده بر روی هولوگرام که بصورت زمینه تداخلی ، پنهان و مرموز است قابل بازسازی بوسیله یک نورهمدوس ، طول موج کمکی است . نتیجتاً شکل موج جبهه‌ای کلیدی است که بدون آن نمی‌توان رموز درون آنرا فاش و مطالعه نمود . حتی بهترین متخصصین از مطالعه موج جبهه‌ای با شکل نامشخص عاجزند .

ظرفیت اطلاعاتی یک هولوگرام

آیا این امکان وجود دارد که چندین تصویر عکاسی را بر روی یک صفحه ضبط نمود ؟

در اصل بلی ، لیکن چه کسی می‌خواهد یک عکس را با چندین تصویر منطبق شده تماشا کند ؟ انتباق چاپ چندین صفحه بر روی یک صفحه بسی موضعی است . در هولوگرافی چنین محدودیتهاست

وجود ندارد . لذا می‌توان چندین تصویر متواالی را در یک هولوگرام ضبط و هر یک از آنها را بطور مستقل مورد بازسازی قرار داد . در واقع بازسازی بر روی یک هولوگرام ضبط شده مستلزم انتخاب موج مناسب ، با ساختمان موج‌ی مشابه با موج کمکی و تابانیدن آن بر روی هولوگرام بطرین مناسب است .

برای سهولت فرض کنید موج کمکی تخت باشد . سپس مناظر مختلفی را با تغییر زاویه موج کمکی بر روی صفحه هولوگرافی ضبط کنیم (این عمل را می‌توان با چرخش هولوگرام در شعاع کمکی انجام داد) . آشکار است بازسازی هر صحنه فقط نیازمند اینستکه جهت هولوگرام با توجه به موج رؤیت تنظیم شود . اگر امکانات تغییر موقعیت هولوگرام و همچنین امکانات تغییر شکل موج جبهه‌ای یک موج را در نظر داشته باشیم ، تعداد تصاویر مجاز جهت ضبط در یک هولوگرام بطور قابل توجهی افزایش می‌یابد . بطور تخمینی یک هولوگرام با سطح در حدود 100 cm^2 می‌تواند یک جلد کتاب فرهنگ بریتانیکا را در آن ضبط نمود .

این مطلب اشاره به ظرفیت فوق العاده زیاد هولوگرام‌ها دارد . در مجموع می‌توان گفت این ظرفیت اطلاعاتی زیاد و ارزش اعتباری ذخیره هولوگرام را که پیش بینی کنیم در آینده انبارهای کتاب تبدیل به انبار هولوگرام می‌گردد . بجای کتابهای حجیم که آسیب پذیر هستند این امکان بوجود می‌آید که از کاستهایی با هولوگرام استفاده شود .

توقف زمانی

یک عکس حالت باور نکردنی تعلیق یک غواص در بالای سطح آب را نشان می دهد . عکس دیگر عظمت فضا را مملو از ذرات متحرک (ذرات بحال منجمد در زمانی که تصویر گرفته شده دیده می شوند) گفته می شود که عکس قادر است زمان را متوقف سازد حال فرض کنیم بخواهیم حالت دست چپ غواص را بینیم . متأسفانه دست چپ در تصویر دیده نمی شود . می خواهیم ذرات را با تفصیل بیشتر در زمینه عکس مورد مطالعه قرار دهیم ، نمی توانیم زیرا این لکه ها تار هستند . ظاهراً در اینوارد نمی توان کاری انجام داد .

حال فرض کنید بجای عکس گرفتن غواص و صحنه با ذرات غبار متحرک بروی یک هولو گرام ضبط شده باشند . بازسازی بوسیله اشعه لیزر پیوسته یک موج نور مشابه آنچه بوسیله شیشه پراکنده شده بما می دهد . در مشاهدات بنظر می رسد غواص واقعاً در فضا معلق است . این حالت در مورد ذرات تیز صادق است . حالت ما می توانیم به غواص از نقطه نظرهای مختلف نگاه کنیم ، همچنین می توانیم ذرات گرد و غبار را به کانون یک میکروسکوپ نزدیک و یا از آن دور کنیم آنها را از زوایای مختلف بینیم

بنابر این واضح است که در مقایسه با یک عکس توقف زمانی یک هولو گرام بما امکان کسب اطلاعات کاملی در یک لحظه زمانی را می دهد .

یک هولوگرام ساختمان حوزه‌های نوری را که در لحظه عکسبرداری وجود داشته ضبط و بطور مدام آنرا بازسازی می‌نماید. نتیجتاً هولوگرافی موقعیت بینظیری جهت بررسی‌های چند جانبه در زمینه اطلاعات نوری را بما می‌دهد.

هولوگرافی و سیستم‌های اطلاعاتی

هولوگرافی نوری کمی بیش از ۱۵ سال قدمت دارد. معهداً متخصصین در زمینه سیستم‌های اطلاعاتی توجه زیاد خود را معطوف هولوگرافی نموده‌اند. اجازه دهید برخی از امکانات کار بردا هولوگرافی در این زمینه را مورد توجه قرار دهیم.

خواندن نقوش: یکی از مشکلات مهم در علم ارتباطات و کنترل (Cybernetics) است. چگونه می‌توانیم یک حرف مشخص را در یک متن شناسائی کنیم؟ چگونه می‌توانیم یک عنصر معیوب را در یک مجموعه قطعات بظاهر یکسان انتخاب کنیم؟ اینها نمونه شاخص مربوط به شناخت طرح یا نقشه است. هولوگرافی یکی از روش‌های امیدبخش در حل عملی چنین مشکلاتی است بطور مثال اجازه دهید شناسائی یک حرف در یک متن را در نظر بگیریم.

اگر چنانچه برای مثال حرف آ را انتخاب کنیم، برای اینکه مشکل مورد نظر (شناسائی حرف آ را در متن) حل کنیم، نیاز داریم یک هولوگرام از یک حرف آ متن را داشته باشیم. ضبط می‌بایستی بوسیله موج پراکنده بوسیله حرف آ بعنوان یک موج کمکی و یک

موج از یک منبع روشن بعنوان موج شیئی صورت گیرد . یک دستگاه مخصوصی هولوگرام را در امتداد متن جابجا می کند ، هرگاه این هولوگرام در مقابل آقرار گیرد یک نور روشن مشاهده می گردد . و از اینرو موجی که بوسیله این آپراکنده می شود تصویر را بازسازی می کند .

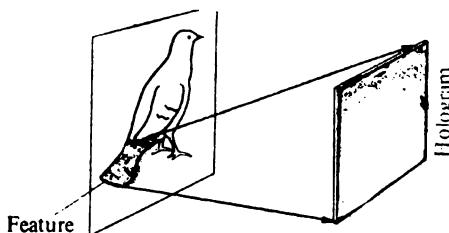
گسب اطلاعات همه جانبه

بررسی های مرتبط یکی از اصول لاینفک حافظه انسان است . با شروع به یادآوری جزئی که نماینده برخی مشخصات ظاهری یک نمود است تصویر کلی آنرا در ذهن خود مجسم می نمائیم . بعارت دیگر یک بررسی مشترک و همه جانبه موجب بازسازی کلی می گردد . هولوگرافی روش مناسبی جهت بررسی های تکنیکی اطلاعاتی همه جانبه است . در نظر بگیرید یک هولوگرام را بدون موج کمکی ضبط و فقط موج شیئی در این امر شرکت کرده ، آیا این امکان وجود دارد که تصویر شیئی را بازسازی کنیم ؟

در دادن پاسخ منفی عجله نکنید . در حقیقت ما می توانیم فرض کنیم (این کاملاً واقعیت دارد .) که زمینهای تداخلی در اثر انطباق امواج سوری پراکنده شده بوسیله قسمت های مختلف شیئی شکل می گیرد . حال موجی را که بوسیله یک عنصر شیئی پراکنده گردیده بعنوان موج کمکی فرض و مجموع امواج پراکنده باقیمانده را بعنوان موج شیئی در نظر می گیریم . برای مثال در شکل ۴-۲۴

موجی را که از قسمتی از شیئی (در اینجا دم پرنده) منعکس می‌گردد می‌تواند بعنوان موج کمکی در نظر گرفته شود. واضح است که بازسازی تصویر شیئی از هولوگرام امکان پذیر است، چنانچه آنرا بوسیله این

شکل ۳۷



شکل ۴-۲۶

موج کمکی مورد تابش قرار دهیم.

بدین معنی که کافیست قسمتی از شیئی را بمنظور بازسازی کل تصویر معرفی کنیم. یا بعبارت دیگر کل تصویر را می‌توان با توصل به جزئی از آن بازسازی نمود. این بررسی می‌تواند مرتبط باشد، اگر هولوگرام حاوی چندین تصویر باشد، فقط آن تصویر بازسازی می‌گردد که حاوی جزء بازسازی شونده است. پس در اینجا معین می‌گردد که اولاً: این امکان وجود دارد هولوگرام هایی که فاقد موجی کمکی اند بوجود آورد، و ثانیاً هولوگرافی بطرز بسیار مناسبی جهت انجام بررسی های مرتبط اطلاعاتی و گسترش حافظه ارتباطاتی مناسب است.

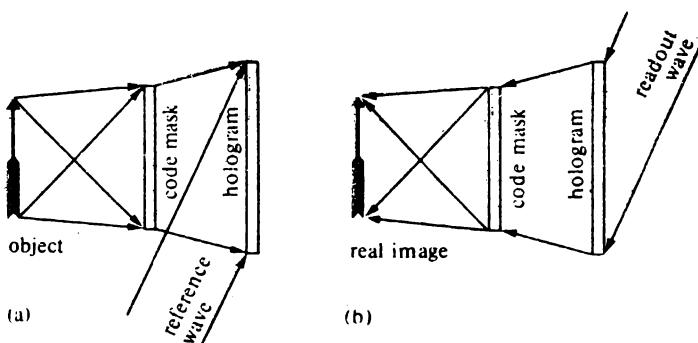
پنهان سازی و آشکار کردن اطلاعات

در اینجا یادآوری می‌نمائیم که یک هولوگرام حاوی اطلاعات

بصورت پنهان است. لذا ضبط هولوگرام در حقیقت رمز کردن است و بازسازی نیز از حالت رمز خارج کردن اطلاعات است، لذا منطقی است که هولوگرافی را بطور اختصاصی در پنهان و آشکار سازی اطلاعات بکار ببریم.

بمنظور ضبط اطلاعاتی که بوسیله موج حمل می شود کافی است این موج را از داخل یک صفحه مخصوص عبور دهیم و دامنه آنرا تغییر دهیم. یک چنین صفحه‌ای موسوم به ماسک پنهان ساز است. دو روش برای پنهان سازی وجود دارد.

در روش اول می باستی ماسک پنهان ساز در مسیر موج کمکی و در روش دوم در مسیر موج شیئی آشکار سازی. روش اول در ترتیب شکل ۴-۱۹ a و آشکار سازی بوسیله روش دوم در شکل ۴-۱۹ b نشان داده شده باد آوری می کنیم که این ترتیب قادر بدشکلی و کجی تصویر واقعی است. اساس روش دوم در شکل ۴-۲۵ a و ۴-۲۵ b مشاهده می گرددند.



۴-۲۵

نظریه عمومی هولوگرافی حجمی

تابحال فتوتکتور را دو بعدی در نظر می‌گرفتیم. تا هنگامیکه ضخامت لایه حساس قابل مقایسه با فاصله بین حلقه‌های تداخلی است، این عمل صحیح است. حال چنانچه ضخامت لایه خلی زیادتر باشد، فتوتکتور تصویر سه بعدی ویژه‌ای را آشکار می‌کند. در نتیجه می‌توان هولوگرافی را به هولوگرافی دو بعدی (معمولی) و هولوگرافی سه بعدی (یا هولوگرافی حجمی) تقسیم بندهی نمود. ایده هولوگرافی حجمی بوسیله دانشمند روسی دنیس یوک (Denisyuk) پیشنهاد گردیده.

طرحی که بوسیله یک فیلم حساس نسبت به نور در منطقه انطباقی امواج کمکی و شیشه‌ی تثبیت می‌گردد یکی از حلقه‌های تداخلی است، در حالیکه در یک حجم حساس نسبت به نور یک سیستم سطوح تداخلی ایجاد می‌گردد. در حالت اول نتیجه یک هولوگرام تخت (ساده) و در حالت دوم هولوگرام حجم حاصل می‌گردد.

یک سیستم سطوح تداخلی هولوگرام حجمی می‌تواند امواج نوری را منعکس نماید، و این مطلب در بازسازی هولوگرام مشاهده می‌گردد. امواجی که بوسیله این سطوح منعکس می‌گردند فقط در حالیکه با یکدیگر هم فاز باشند، با یکدیگر تداخل نمایند.

این بدان معنی است که هولوگرام حجمی بطور انتخابی با توجه به طول موجی که مشاهده آن بکار برده می‌شود آشکار می‌گردد. بدیهی است که همزمانی فازها فقط برای طول موجی است که جهت

ضبط بکار برده می شود بدست می آید .

لذا این امکان وجود دارد که هولوگرام را با استفاده از نور سفید (نور خورشید یا نور چراغهای برق معمولی) تهیه نمود . اگر از چندین طول موج ثابت (که از چند لیزر ساطع می شود) برای ضبط هولوگرام استفاده کنیم در بازسازی این هولوگرام در نور سفید همان طول موج ها جدا می گردند .

هولوگرافی در اطراف ما

همانطور که قبلاً اشاره نمودیم جایگزینی هولوگرافی در سیستم عکاسی معمولی روز مسره کاری بسیار مشکل است ، بلکه در حال حاضر بهره برداری ماکزیموم از هولوگرافی بیشتر در زمینه های علمی و تکنیکی مورد توجه است . این هرگز بدان معنی نیست که افرادی که حرفه آنها از علوم و تکنولوژی دور است احساس در ارتباط با اعجاز هولوگرافی نداشته باشند . حتی امروزه تصاویر هولوگرافی تقریباً با منظرة ۳۶۰ درجه ای جهت آگهی های تجاری احساس انگیز بکار برده می شود . پیش بینی می شود چنین تصاویری بطور گسترده ای در تأثیر و سیر کها مورد استفاده قرار بگیرد . بطور تجربی ثابت نشان داده شده که هولوگرافی را می توان در سینما بکار گرفت ممکن است زمانی فرا رسد که تماشاچیان تصاویر سه بعدی زنده هولوگرافی را تماشا کنند : آزادی بطور مطلق واقعی (نظری آنچه در تئاتر های امروزی دیده می شونند) در میان صفحه های بطور مطلق

واقعی (بیش از آنچه در تئاتر وجود دارد) .
بعید نیست نسل ما بتواند ناظر بر ظهور تلویزیون‌هایی با
تصاویر سه بعدی باشد .

تداخل سنجی هولو گرافی

اصول تداخل سنجی هولو گرافیک

همچنانکه قبله گفته شد هولو گرافی قادر است زمان را در یک لحظه انتخاب شده متوقف سازد:

می توان موج نوری را که بوسیله شبیه در لحظه ضبط منعکس می گردد ثابت نگهداشت و مجددآ آنرا باز سازی نمود، ما قادر هستیم از این هم فراتر رفته و نه تنها زمان را در یک لحظه ثابت نگهداشیم بلکه دو لحظه زمانی مختلف را در کنار یکدیگر قرار دهیم.

این مستلزم ضبط شبیه در دو لحظه زمانی بر روی یک هولو گرام است.

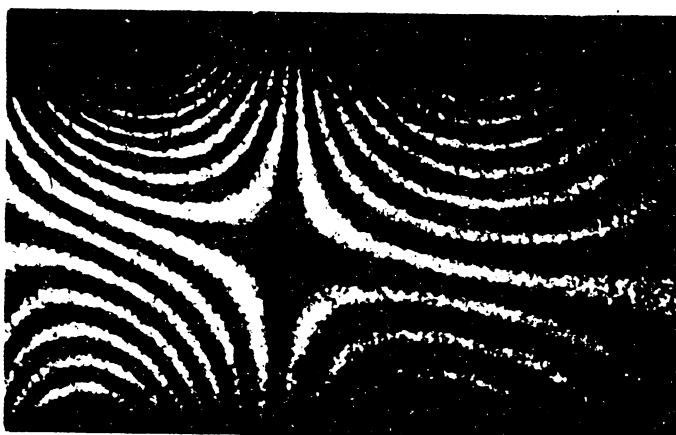
هنگامیکه این هولو گرام باز سازی شود دو موج نوری بطور همزمان تولید میشود. یکی بوسیله شبیه در لحظه یک و دیگری در لحظه دو پراکنده می شود. هردو تصویر بازسازی شده بطور مطلق واقعی

هستند و لذا می‌توانند تداخل نمایند. مشاهده تداخل این دو موج نوری اساس تداخل سنجی هولوگرافیک است. باید توجه داشت که تداخل سنجی هولوگرافیک واقعاً با چندین طرح تداخلی سر و کار دارد. هنگامی که یک تصویر دوبار ضبط و بعداً بازسازی می‌شود سه طرح تداخلی ایجاد می‌گردد. اولین طرح بواسیله ضبط هولوگرام در لحظه یک شکل می‌گیرد. دومین طرح از ضبط مکرر بر روی همان هولوگرام حاصل می‌شود (دو طرح مذکور بر روی فیلم منطبق و ثابت می‌گردد) و بالاخره سومین طرح در اثر تداخل امواج بازسازی شده طرح‌های تداخلی ۱ و ۲ حاصل می‌شود.

در مقایسه با دو طرح قبلی طرح آخر معمولاً بطور واضح بچشم دیده می‌شود بصورت سیستم حلقه‌های تداخلی بر روی تصویر شیشه بازسازی شده از هولوگرام دیده می‌شود.

این تصویر بازسازی شده سوم به تداخل نمای هولوگرافی است. یک نمونه (صفحه فلزی) در تصویر ۴-۲۶ نشان داده شده است. اقدام مرحله بعدی تهیه هولوگرام است. شیشه (صفحه فلزی) بر روی نیمکت اندازه‌گیری ثابت و بر روی هولوگرام ضبط می‌گردد. توجه داشته باشید از آنچه که صفحه فلزی ثابت و بدون حرکت است لذا لحظه تهیه هولوگرام می‌تواند اختیاری باشد. سپس صفحه را تحت فشار مکانیکی قرار میدهند. سپس صفحه مذکور بر روی همان هولوگرام مجدداً ضبط می‌گردد در بازسازی دو موج شیشه تولید می‌گردد. یکی نمایانگر صفحه‌ای که در حالت اول و دیگری صفحه‌ای که تحت تأثیر فشار مورد ضبط قرار گرفته بود. در اثر تداخل این امواج تصویر

حاصله حاوی حلقه‌های تداخلی است. (چیزی شبیه طرح تصویر ۴-۲۶) بدیهی است وسعت و تغییر شکل فیزیکی سطح صفحه را می‌توان از پهنا و پراکندگی حلقه‌های تداخلی نتیجه گیری نمود.



۴-۲۶

أنواع مختلف تداخل سنجي هولوگرافی

یک روش اساسی جهت تداخل سنجي هولوگرافی تداخل دو بوج نوری است که حداقل یکی از آنها در بازسازی یک هولوگرام دست آمده باشد.

دو تکنیک در اینجا امکان پذیر است. در اولین روش هر دو بوج

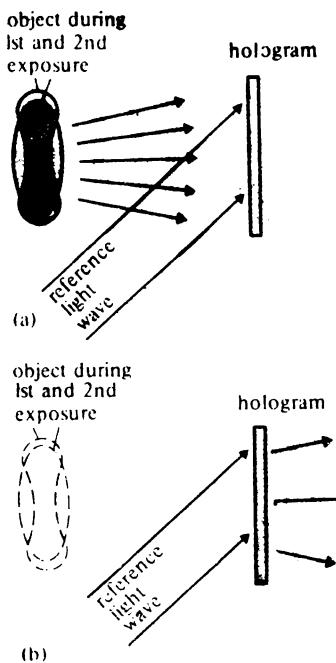
از هولو گرام باز سازی می شوند (شرح این روش در بالا ذکر گردید). در روش دوم فقط یکی از هولو گرام ها باز سازی در حالیکه دیگری به وسیله شبیه برآکنده می شود. اجازه دهید این تکنیک ها را با تفضیل بیشتر مورد بررسی قرار دهیم. روش اول : در این روش هردو موج تداخل شونده یک هولو گرام که بر روی آن شبیه دوبار ضبط گردیده باز سازی می شوند.

زمینه های تداخلی بر روی تصویر شبیه نشان دهنده تغییرات حاصله بر روی سطح در فاصله زمانی بین دو زمان تابش نور است. بهمین دلیل این تکنیک موسوم به تداخل مرور زمانی است. این مطلب فوق العاده حائز اهمیت است که موقعیت شبیه در هنگام تابش دوم نور بطور مطلق مشابه با موقعیت آن لحظه اول باشد. زیرا در اینصورت دو تصویر ضبط شده هولو گرام با دقت بر روی یکدیگر منطبق می گردند.

این تکنیک در تصویر شماره ۴-۲۷ نشان داده شده است.

شکل ۴-۲۷ a مراحله ضبط هولو گرام را نشان میدهد.

تغییر شکل فیزیکی بطرز درشت و مبالغه آمیزی جهت وضوح آن مشخص گردیده. مرحله بازسازی در شکل b ۴-۲۷ نشان داده شده. روش دوم: در این روش یکی از امواج نوری تداخلی از هولو گرافی باز سازی می شود که فقط یکبار مورد تابش قرار گرفته موج دومی بوسیله خود شبیه پراکنده و در زمان بازسازی هولو گرام در صحنه حضور دارد . برای بدست آوردن تداخل مبایستی شبیه دقیقاً در محل تصویر مجازی باز سازی شده بوسیله هولو گرام قرار



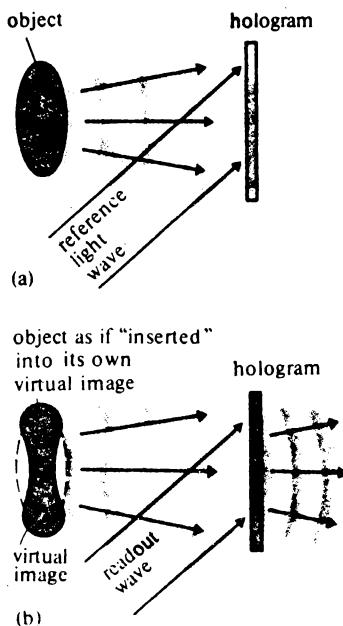
۴-۲۷

گیرد. این مستلزم آنست که شیئی بر روی میز مخصوص در فاصله زمانی بین ضبط هولوگرام و مشاهده طیف تداخلی ثابت بماند. همین الزام در مورد هولوگرام نیز وجود دارد. و میبایستی هولوگرام در شرایط خاصی قرار داشته باشد. طیف تداخلی حاصله بواسیله این روش ما را قادر می‌سازد که تغییرات حاصله در سطح شیئی را که در لحظه مشاهده وقوع یافته مورد ارزیابی قرار دهیم. یا بهتر بگوئیم این تغییرات را

بعنوان تابع زمانی تلقی نمائیم. حلقه‌های تداخلی ممکن است به هنگام مشاهده تغییراتی داشته باشد. بهمین دلیل این تکنیک به تداخل سنجی واقعی زمانی موسوم است.

در شکل ۴-۲۷ تصاویر مرحله‌های این روش دیده می‌شود.

مرحله ضبط در تصویر ۴-۲۸ a - b باز سازی در تصویر. نشان داده شده (که در حقیقت مشاهده حلقه‌های تداخلی است) مقایسه اشکال ۴-۲۷ و ۴-۲۸ مارا درجهت درک اختلاف بین روش‌های مذکور باری می‌نماید.



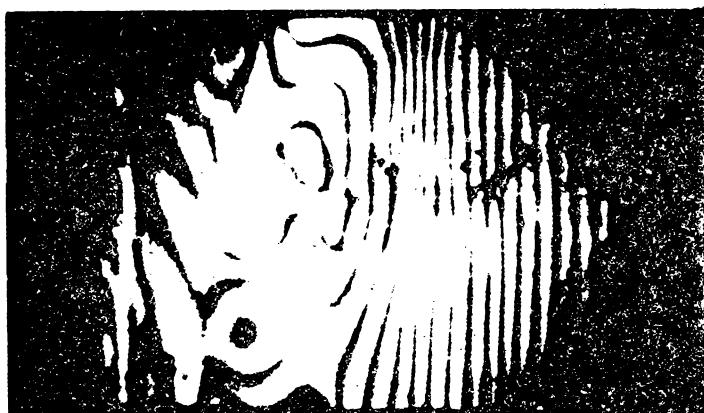
شکل ۴-۲۸

کاربردهای عملی تداخل سنجی هولوگرافی

پیشرفت تکنولوژی موجب افزایش دقت در ساخت محصولات متعدد می‌گردد. این دقت میباشد که مشخص گردد. فرض کنید جسمی در شرایط کاری تحت فشار بارهای مکانیکی مختلفی قرار داشته باشد. در اینصورت میباشد که فشارهای داخلی جسم و همچنین نقاط متغیر که کنده فشار آمیخته با خطر را بدانیم. تداخل سنجی هولوگرافی این امکان را در اختیار می‌گذارد تا درجه و حالت تغییر شکل سطح مورد مشاهده را محاسبه کنیم که این در حقیقت استخراج اطلاعات لازم برای محاسبه پراکندگی فشار داخلی است. بدیهی است فشارهای داخلی را که در اثر تغییرات حرارتی به جسم وارد می‌شود می‌توان بهمین طریق تجزیه نمود. برای مثال بررسی رگه‌های جوش خورده فلزات یا ضربه انبساط حرارتی مختلف را می‌توان نام برد. یک جسم ممکن است دارای نمائی (شکاف، نقاط اتصال جوش نخورده داخلی، ترک) باشد، در حالی که اشیاء فلزی باشند، روش ارسال اشعه ایکس بیفایده است.

در برخی از موارد تکنیک‌های استفاده از امواج صوتی نیز با شکست رو برو می‌گردد. این امکان وجود دارد تداخل سنجی هولوگرافی را در مورد اجسامی که تحت فشار قرار دارند بکار برد. از آنجا که طیف تداخلی نمایانگر تغییر شکل‌های فیزیکی بر روی سطح است می‌توان وجود نمائی و نوع آن را و حتی موقعیت آنرا مشخص نمود.

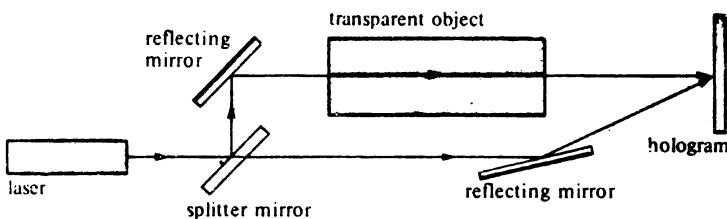
برای مثال جسمی حاوی دو صفحه فلزی جوش خورده را در نظر می‌گیریم امکان وجود قسمت‌های جوش نخورده در سطوح داخلی وجود دارد. جسم از نظر حالت فشرده است. تصویر شماره ۴-۲۹ نشان دهنده چگونگی تداخل این امواج مناطقی با طرح تداخلی گسپخته است، که این گسیختگی دلیل بر وجود نقصانات داخلی در این قسمتها است. تداخل سنجی هولوگرافی همچنین جهت نشان دادن ابعاد و شکل اشیاء و همچنین کیفیت سطوح آنان بکار برده می‌شود. برای این منظور یکی از امواج مقایسه‌ای بوسیله شیئی پراکنده و تجزیه و دیگری بوسیله هولوگرامی که قبل^۱ تصویر جسم بر روی آن ضبط شده، بازسازی می‌گردد.



۴-۲۹ شکل

تداخل سنجی هولوگرافی در زمینه اجسام شفاف

نحوه ضبط هولوگرام اجسام شفاف در شکل ۴-۳۰ نشان داده شده. در این شکل نمی‌توان میکرو عدسی‌های شیشه‌ی و اختصاصی را که بمنظور انساط اشعه نور بکار گرفته می‌شود، دید. هنگامیکه یک موج نور از داخل جسم شفاف عبور می‌کند بطريق خاصی مدوله می‌گردد: جسم طول مسیر امواج نور را (طول مسیر بستگی دارد به ضربی شکست، و بنابراین چگالی ماده) و در نتیجه فاز امواج را تغییر میدهد. بهمین دلیل اجسام شفاف گاهی اجسام فاز و هولوگرام آنها هولوگرام فاز نامیده می‌شوند.

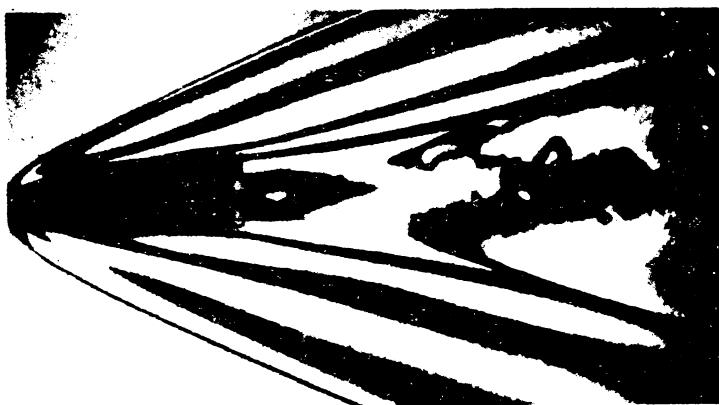


۴-۳۰

روش دیگری را بشرح زیر در نظر می‌گیریم. در اینجا جسم شفاف را استوانه محتوی گاز انتخاب کرده که در معرض عبور یک گلوله قرار دارد. ابتدا آنرا قبل از تیراندازی مورد تابش قرار داده و سپس هنگام عبور گلوله از داخل استوانه، این عمل را انجام

میدهیم، (تابش لیزر میباشد) بطور اتوماتیک بهنگام عبور گلوله بداخل استوانه صورت پذیرد) . دو موج نوری بواسیله هولو گرام مورد باز سازی قرار میگیرند در یکی از آنها تغییرات فاز در گاز استوانه و دیگری در امواج متلاطم حاصله دراثر عبور گلوله محاسبه میگردد. (شکل ۴-۳۱)

باید ترجیداشت که تلاطم حاصله دراثر عبور گلوله چگالی گاز را تغییر میدهد و بهمین دلیل طول مسیر تغییر مینماید. تداخل امواج ایجاد زمینه‌ای را مینماید که ساختمان آن مشخص کننده تغییرات دانسته دو گاز مورد دوتابش یاد شده است.

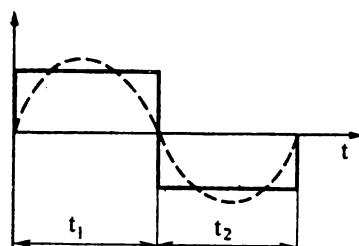


شکل ۴-۳۱

بطور خلاصه تداخل سنجی هولوگرافی این امکان را بوجود می‌آورد که تصاویر فوری و حاوی اطلاعات در زمینه پراکنده‌گی میزان چگالی در گازهاست که خود مطالعه تفصیلی پدیده دینامیک گازهاست.

تداخل سنجی هولوگرافی در زمینه اجسام مرتعش

تداخل سنجی هولوگرافی همچنین بطور گسترشده‌ای جهت تجزیه و تحلیل ارتعاش سطوح تعدادی از اجسام بکار برده می‌شود. در اصل یک طیف تداخلی از یک سطح مرتعش را بسهولت می‌توان بدست آورد. کافیست فیلمی را برای مدتی بسیار طولانی‌تر از زمان تناوب ارتعاش مورد تابش قراردهیم. هولوگرام حاصله بیشتر دوموج نورانی مربوط بهدو وضعیت نهائی قسمتهای مرتعش سطح را بازسازی می‌نماید. تداخل این دو موج نقشی از سطح نوسانگر ایجاد می‌کند (تداخل سنجی با میانگینی زمانی).



شکل ۴-۳۲

برای روشن شدن مطلب شکل ۴-۳۲ را که در آن یک موج سینوسی مشخص کننده حرکت نوسانی است در نظر میگیریم اگر این منحنی واقعاً مراحل ارتعاش را تشریح کند. هولوگرام فقط دو موج شیئی را باز سازی می‌کند. یکی مربوط به محدوده زمانی آشکار سازی t و دیگری مربوط به محدوده زمانی آشکارسازی t_0 در حقیقت این حالت نظیر روش دوبار آشکار سازی است.

شکل ۴-۳۳ یک طرح تداخلی سطح متعش مربوط به یک غشاء



شکل ۴-۳۳

دایره‌ای را نشان میدهد. در خاتمه باید توجه داشت که نمونه‌های ارائه شده در بالا نشان دهنده ارزش عملی تداخل سنجی هولوگرافی است.

این تکنیک با موفقیت در کنترل غیر تخریبی و بررسی اجسام کوچک و بزرگ (از قطعات ظریف الکترونیک تا ساختمانها) و نیز تحقیقات مشروح در زمینه مواد گازی، کاربرد دارد. در بسیاری از موارد نتایج حاصله از تداخل سنجی هولوگرافی بی‌مانند می‌باشند.

ژیر سکوپ‌های لیزری

ژیرسکوپ دستگاهی است که در سیستم ناوبری کشتی‌ها و در دستگاه کنترل کننده اتوماتیک هواپیماها و سایر وسائل نقلیه فضائی بکار برده می‌شود . قسمت اصلی ژیرسکوپ یک چرخ کوچک است که با سرعت می‌چرخد و میتواند نسبت به محور چرخش آن بانتظام قابلی در حالت ثابت بماند و در مقابل هر گونه تغییری مقاومت نموده و به حالت اولیه خود برگرداند. ژیرسکوپ‌های مکانیکی بخارط وجود چرخش آسیب‌پذیر بوده و این از قابلیت اعتماد نسبت به آنها میکاهد بنابراین کار کردن با آنها در هواپیما خالی از اشکال نمیباشد . آخرین تحقیقات نشان داده است میتوان از لیزر بمنظور ساختن ژیر سکوپ استفاده نمود اینگونه ژیرسکوپ‌های دستگاه‌های جدیدی می‌باشند که بر اساس پدیده دوپلز فیزو ساخته شده .

اینگونه ژیرسکوپ‌ها قادر هر گونه اجزای متحرک بوده و بنابراین میتوانند برای مدت طولانی با حساسیت زیاد مورد بهره‌برداری قرار گیرند نتایج بدست آمده بوسیله ژیرسکوپ را میتوان بوسیله ارقام

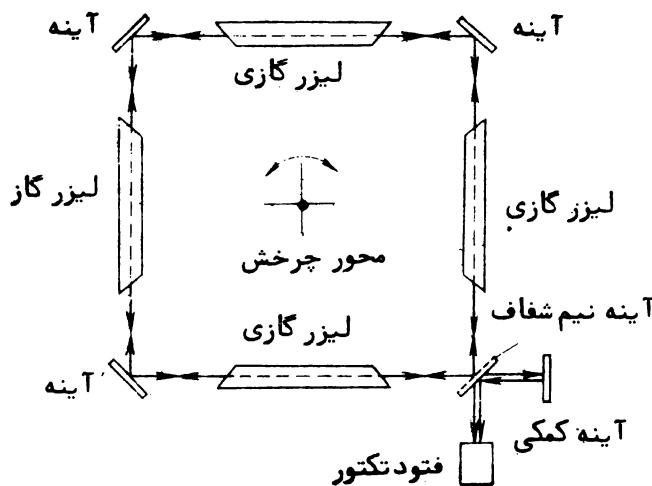
دیجیتال ارائه نمود بنابراین ژیرسکوپ لیزری را به آسانی می‌توان به یک کامپیوتر الکترونیک الحاق نمود. ژیر سکوپ لیزری سیستمی است حاوی چهار لیزر هلیوم نشون بنحویکه مجموعاً تشکیل یک مربع را می‌دهند(شکل ۴-۳۴) در چهارگوشه این مربع چهار آینه نصب گردیده که هر کدام با امتداد محور لیزرها زاویه ۴۵° تشکیل میدهند و انتشار لیزر را بصورت یک حلقه تامین می‌کنند. از آنجاکه هر یک از لیزرها در این طرح از دو انتهای لوله خود اشعه ساطع می‌کنند دو شاع نور لیزر در ژیرسکوپ تولید میگردد که درجهت مخالف یک دایره حرکت می‌کنند. حال چنانچه مربع مشکله از چهار لیزر ثابت بماند هردو شاع مسیری معادل یکدیگر را طی مینماید. اما اگر لیزرها را روی صفحه دواری که میتواند در امتداد محوریکه عمود بر آن صفحه میچرخد قرار گیرند در اینحال شاع نوری که در مسیر موافق (مسیری با چرخش صفحه) حرکت می‌کند مسیر بیشتری را نسبت به نوری که خلاف جهت گردش صفحه طی مسیر می‌کند می‌بینیم، در نتیجه بین این دو شاع طبق اصل دوپلر فیزو تغییر فرکانس^۱ ایجاد می‌گردد، (این پدیده را اثر دوپلر می‌نامند) تغییرات حاصله را میتوان بوسیله روش‌های اپتیکی محاسبه نمود برای این کاریکی از چهار آینه‌ای را که در چهار گوشه مربع قرار دارند از جنس نیم شفاف انتخاب می‌کنند در اینصورت مقدار کمی از نور شاعهای که درجهت مخالف حرکت می‌کنند می‌تواند از این آینه عبور کند و بقیه آن مسیر دورانی قبلی خود را طی می‌نماید. با قراردادن یک آینه در مسیر یکی از شاعهای

که از آینه نیم شفاف خارج میگردد (این آینه بطور عمود در مسیر این شعاع قرار میگیرد مطابق شکل) این شعاع نور را مجدداً بطرف آینه نیم شفاف بر میگرداند و در نتیجه این عمل باعث میگردد که هر دو شعاع خارج شده در آینه نیم شفاف دارای یک مسیر مشترک شده و هردو در یک مسیر از سیستم خارج شوند.

این شعاعها سپس بوسیله یک فتووتکتور قطع شده و تغییرات طول موج و یا فرکانس حاصله اندازه گیری میگردد. سرعت زاویه‌ای ω

$$\frac{\Delta f}{\Delta A} = \omega$$

را میتوان از فرمول $\frac{\Delta f}{\Delta A} = \omega$ اندازه گیری نمود در این فرمول ω سرعت زاویه‌ای و Δf تغییرات فرکانس و λ طول موج اشعه لیزرو P پیرامون مربع و A سطح مربع میباشد. در یک مدل تجربی ژیرسکوپ لیزری که طول نوری بازوی آن برابر یک متر و دارای تابش هیلیوم نئون با طول موجی برابر $1/153$ میکرون میباشد اختلاف فرکانس بدست آمده بوسیله فتووتکتور برابر 250 هرتز برای درجه چرخش در دقیقه بدست آمده. فرکانس خروجی بدست آمده با چرخشی برابر 2 درجه در دقیقه برابر 500 هرتز و برای چرخشی برابر 600 درجه در دقیقه برابر 150 کیلو هرتز گردید، ژیرسکوپ لیزری با چنین طرحی دارای



شکل ۳۶-۴ ژیرسکوب لیزری

ابعاد بزرگی می‌باشد و این یکی از دلایل بیصرفه بودن دستگاه‌مدکور می‌باشد این ابعاد را میتوان با باترگرفتن لیزرهای نیمه‌های بجای لیزر گازی کوچکتر انتخاب نمود. هر چند کوتاه بودن مسیر نور حاکی از حساسیت می‌باشد لیکن میتوان این اثر مطلوب را با انتخاب طول موجه‌ای کوتاه‌تر (طول موج ۷۱/۰۸۴۰ میکرون) جبران نمود، گرچه ابعاد ژیرسکوب لیزر گازی نسبتاً زیاد است ولی علیرغم این حقیقت می‌توان در کشتی‌هاییکه محدودیتی از نظر وزن و ابعاد در آنها وجود ندارد از اینگونه لیزرها بخوبی استفاده نمود در یکی از مدل‌های ژیرسکوب لیزری یک رزوناتور سه‌گوش متساوی الاصلع با آینه‌های گوشه‌ای که در فاصله ۵۶/۱۳۸ سانتیمتر از یکدیگر قرار گرفته‌اند انتخاب گردید طول موج تابش لیزر گازی برابر 6328A° بود.

متخصصین بر این اعتقادند که این طرح تنظیم سهل‌تر بوده و اشتباها نوری به حداقل خود خواهد رسید.

ژیرسکوپ دیگری با طرح مشابه ولی با ابعاد مختلف رزوناتور که فاصله سه گوش آن از مرکز مثلث (محل تقاطع سه عمود منصف) برابر ۱۰ سانتیمتر است قادر خواهد بود که سرعت زاویه‌ای کمتر از ۱۰۰ درجه در دقیقه را اندازه‌گیری نماید . در حال حاضر فعالیت درجهت تکامل ژیرسکوپ‌های لیزری درحال پیشرفت می‌باشد انتظار می‌رود که یک ژیرسکوپ لیزری با وزنی کمتر از ۹۰ کیلوگرم وابعادی رویه‌رفته در حدود ۵٪ ساخته شود .

کاربرد لیزر در کشف و رد یابی

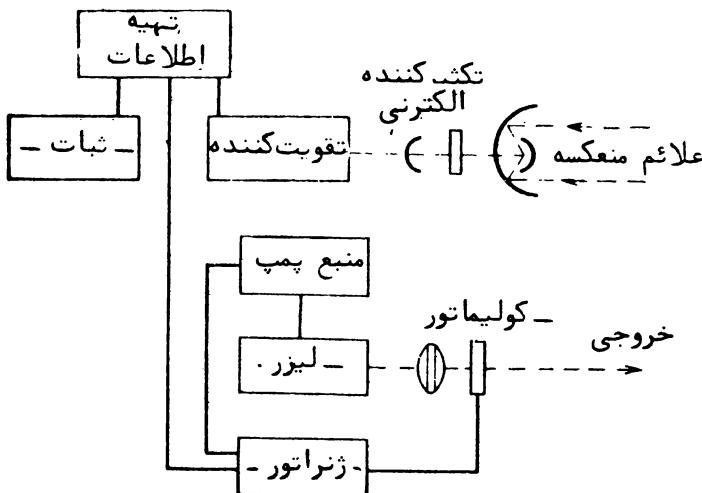
در سیستم‌های رادار اشعه الکترو مغناطیسی جهت کشف و محاسبه مختصات فضائی اشیاء مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد . این اشیاء را میتوان در سطح زمین و هبوا ویا دریا مورد مطالعه و ردیابی قرار داد ، اجسام مورد مطالعه خواه ثابت و یا در حال حرکت باشد پارامتر حرکت آنها کاملاً بوسیله رادار محاسبه می‌گردد . تاین اوآخر امواج الکترو مغناطیسی که طول موج آنها در حدود امواج رادیوئی (متر - دسیمتر - میلیمتر) بسود در سیستم رادارها مورد استفاده قرار می‌گرفت ، اینگونه سیستم‌ها در جنگچ جهانی دوم بوجود آمد و در زمان جنگ تکنیک مربوط به رادارها کاربرد زیادی پیدا نموده به سطح بالای علمی و تکنیک‌های استاندارد رسید . رادارهای لیزری یکی

از شاخه‌های جدید کوانتم الکترونیک را بوجود آورد و بعلت تحقیقات بیشماری که بصورت تئوری و تجربی در مدت زمان کوتاهی در این زمینه بعمل آمد فوائید بسیار زیادی عاید دانشمندان شوروی گردید و تکنیک رادارهای لیزری براساس بکارگیری محدوده مرئی نوسانات الکترو مغناطیسی پی‌ریزی گردید.

نور معمولی برای مدت‌های طولانی بعنوان وسیله کشف و مطالعه استفاده قرار می‌گرفت لذا تا قبل از ظهر تحقیقات لیزری نور معمولی اساسی‌ترین وسیله برای کشف و مطالعه در رد یابی هدفهای مورد نظر بشمار میرفت و انرژی نورانی ساطع شده از منابع موجود فقط بمنظور روشن کردن هدف مورد مطالعه بکار برده می‌شد و مطالعه اجسام نیز بواسیله قدرت بینائی صورت می‌گرفت و طبیعتاً امکانات تحقیقات نوری محدود بود با اظهور منابع مولد نور تکرنگ روش بکارگیری انرژی نورانی تغییر نمود و لیزرها امکان ایجاد پالس‌های نوری را در مدت زمان فوق العاده کوتاه با انرژی کافی جهت ثبت علائم منعکس از یک شئی را در ایستگاههای دریافت کننده بوجود آورند . بکار گرفتن محدوده مرئی نور و رادارهای لیزری بدلاًیل متعددی صورت گرفته است در مقایسه برا رادارهای معمولی میتوان گفت رادارهایی که در محدوده مرئی کار می‌کنند دارای خط سیر نسبتاً مستقیمی بوده و دارای ثبات بیشتری با توجه به فاصله می‌باشند، لازم به تذکر است که یک رادار اپتیکی که قدرتیش میلیون‌ها بار کمتر از یک ایستگاه رادار است بکه باطول موجی در حدود میلیمتر کار می‌کند قادر است در زمینه اکتشافات مورد استفاده و بهره برداری

قرار گیرد لیزرهای اپتیکی معمولاً در مقابل اثرات ناشی از تداخل امواج نیز حساس نبوده و این تداخل فقط زمانی میتواند بر روی لیزر اثر بگذارد که منبع مولد نور آنها در داخل شعاع را دار قرار گیرد و در حالی که شعاع را دار خیلی باریک باشد در این حال نیز احتمال تداخل امواج دیگر بسیار ضعیف می‌باشد اثرات تداخلی امواج را میتوان با بکار بردن فیلترهای مخصوص از بین برد، رادارهای لیزری بخاطر وزن کم و کوچک بودن ابعادشان مورد توجه قرار گرفته‌اند. حال که مزایای رادارهای لیزری را بر شمردیم بدینیست به معايب اينگونه رادارها از جمله رقيق شدن اشعه لیزر هنگامیکه عبور در هوای بارانی و بر قی که خود میتواند باعث ایجاد محدودیتهایی در زمینه کار رادار باشد، اشاره کنیم در این حالت رادارهای لیزری در جو بالا جائیکه آتمسفر وجود ندارد و در بالای کوهها بالای سطح تراکم ابرها با موفقیت و اطمینان بیشتری کار میکند با استفاده از رادارهای لیزری مشخصات جسم از قبیل فاصله ارتفاع و مختصات زاویه‌ای و سرعت محاسبه می‌گردد. طرح يك رادار لیزری در شکل ۴-۳۵ بخوبی نشان داده شده این طرح نظیر طرح رادار معمولی میباشد و از سه قسمت اساسی تشکیل شده است يك قسمت دستگاه فرستنده رادار، قسمت دیگر دستگاه گیرنده و يك قسمت شامل دستگاه اطلاعات آن میباشد دستگاه فرستنده شامل يك لیزرياقوتی و يك دستگاه کوليماسور جهت باریک کردن شعاع لیزر و يك دریچه عبور نور که پالس نور را بصورت راست گوشه در می‌آورد دستگاه گیرنده نیزه تشکیل شده از يك آینه مقعر که بوسیله آن نور منعکس شده از جسم جمع آوری می‌گردد يك فیلتر

که از اثر تشعشعات مزاحم و یا تداخل جلوگیری می‌کند و یک دستگاه و تکثیر کننده الکترونی که کارش تبدیل نوسانات الکترو مغناطیسی به جریان الکتریکی و یک تقویت کننده نوسانات الکتریکی در دستگاه اطلاعاتی^۱ مختصات جسم مسورد نظر را بدست می‌دهد. فاصله بین هدف مورد مطالعه را از روی زمان رفت و برگشت بین پالس ارسالی و علامت منعکسه این پالس از جسم مورد مطالعه محاسبه می‌گردد. رادار لیزری که ذکر آن بینان آمد قادر است پالسهای را برای مدت ۰/۰۰۳ ثانیه با قدرت ۲ کیلووات از خود ساطع کند وزن آن بین ۱۱ تا ۱۴ کیلو گرم و قدرت پوشش آن در شرایط نرمال جوی برابر ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر می‌باشد این رادار قادر است دو شیئی را که در فاصله ده کیلو متری رادار قرار داشته و فاصله بین آنها سه متری می‌باشد از یکدیگر تفکیک نماید. لیزرهای دیگری نظیر لیزر گازی رامی توان بخوبی عنوان



شکل ۳-۴: طرح ساده یک رادار لیزری

منبع تابش مورد استفاده قرارداد بموجب آنچه از مطالب منتشر شده تاکنون بدست آمده میانگین قدرت ۷۰ کیلووات می‌تواند فاصله بین دو راکت را که دارای قطری برابر عتمتر می‌باشد باقتضای ۱/۶ کیلو متر در حالی که فاصله آنها ۱۶۰۰۰ کیلو متر است اندازه گیری کند. تحقیقات دیگری جهت تعیین امکان کاربرد لیزر در زیر دریا در حال حاضر ادامه دارد و انتظار می‌رود نتایج خوبی با استفاده از لیزری که در محدوده بین نورآبی تا سبزکار می‌کند بدست آید و عملت این امر اینستکه آب در مقابل چنین محدوده نوری شفاف می‌باشد از اینگونه لیزرها می‌توان به منظور کشف کشتی‌ها و موشک‌های

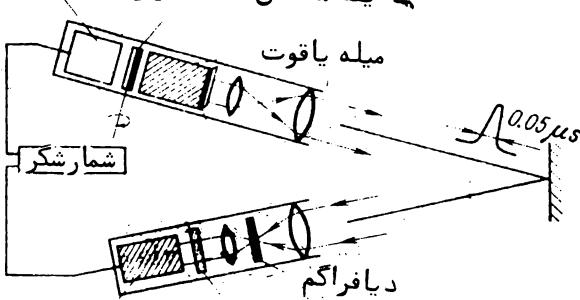
زیردریائی و معادن را با پوشش چند صد کیلومتر استفاده نمود.

مسافت یاب لیزری

در چند سال اخیر نیاز شدیدی نسبت به وجود دستگاههایی که قادر به اندازه گیری دقیق فواصل اجسامی که در شرایط مختلف می‌باشند احساس گردیده و در همین زمان مشکلات و نارسائی‌هایی نیز در مسافت یابی وجود داشته که اساسی‌ترین این نارسائی‌ها وسعت پهناهی فضایی امواج مورد استفاده بوده که باعث ایجاد تداخل (به این علت که امواج ساطع شده به اشیاء مجاور دیگر برخورد و منعکس می‌گردد) می‌شود. در اندازه گیری فواصل با دقت بسیار زیاد به کار گرفتن مسافت یاب لیزری که در محدوده مرئی نور کار می‌کند. با امواج قوی تکرزنگی و باریکی که دارد هیچینک از نارسائی‌هایی که مسافت یاب‌های قبلی داشتند ندارد، اصول کار یک چنین مسافت یابی قابل مقایسه با رادار معمولی می‌باشد و طبیعتاً برخی از قسمت‌های آن دارای طرح مخصوصی می‌باشد که بشرح آن می‌بردازیم طرح این گونه لیزرها در شکل ۳۶-۴ نشان داده شده در این طرح یک شعاع لیزر از طریق لوله ساطع کننده بطرف شیئی مورد نظر ارسال می‌گردد، پس از اینکه این شعاع به سطح شیئی برخورد می‌کند از آن منعکس و قسمتی از شعاع منعکسه بوسیله لوله دریافت کننده مسافت یاب که بر روی آن یک فیلتر اپتیکی (۱) تعییه گردیده دریافت می‌گردد، این فیلتر امکان

جداسازی اشعه منعکسه از شیئی را حتی از اشعه مزاحم خورشیدی فراهم می‌سازد، سپس علامت نوری منعکسه از شیئی موردنظر به ورودی یک سلول تکثیر کننده الکترونی^۱ میرسد، این علائم تقویت شده و عامل

فتودیوود
آینه منعکس کننده دوار -

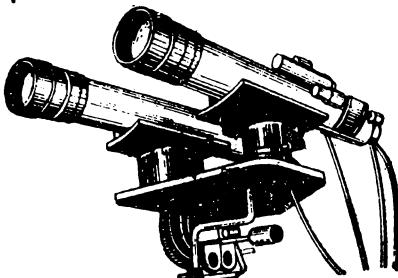


فیلتر اپتیگی تکثیر کننده الکترونی

شکل ۳۶—طرح ساده یک مسافت یاب لیزری

بهرگشت در آوردن یک ژنراتور می‌گردد از پالس‌هایی که پس از مدت زمان معین به ورودی دستگاه میرسد میتوان فاصله را نسبت به جسم اندازه‌گیری نمود. ساختمن دستگاه مسافت یاب لیزری از دو قسمت تشکیل شده ۱ - دماغه دستگاه ۲ - مولد نیروی دستگاه، دماغه دستگاه خود شامل یک فرستنده موج و یک دریافت کننده موج می‌باشد، فرستنده موج تشکیل شده است از یک لیزر یاقوچی که بوسیله لوله حاوی گزnon تحریک می‌گردد، همچنین دماغه سیستم حساوی یک

دستگاه شمارش و یک سلول تکثیر الکترونی می‌باشد تصویر یک دستگاه مسافت یا ب لیزری در شکل ۳۷-۴ دیده می‌شود. قدرت پوششی این دستگاه تا ۶ کیلومتر بوده و در صورت مساعد بودن هوا قدرت پوششی آن به ده کیلومتر میرسد حدود دقت اندازه‌گیری آن برابر ده متر قطع نظر از اندازه‌ایست که دستگاه بما میدهد، باید اشاره نمود که بکار گیری دستگاه مذکور بسیار ساده و کافیست شیئی را انتخاب و تکمه کنترل را فشار داد تا فاصله‌شیئی بوسیله ارقام بسر روی دریچه

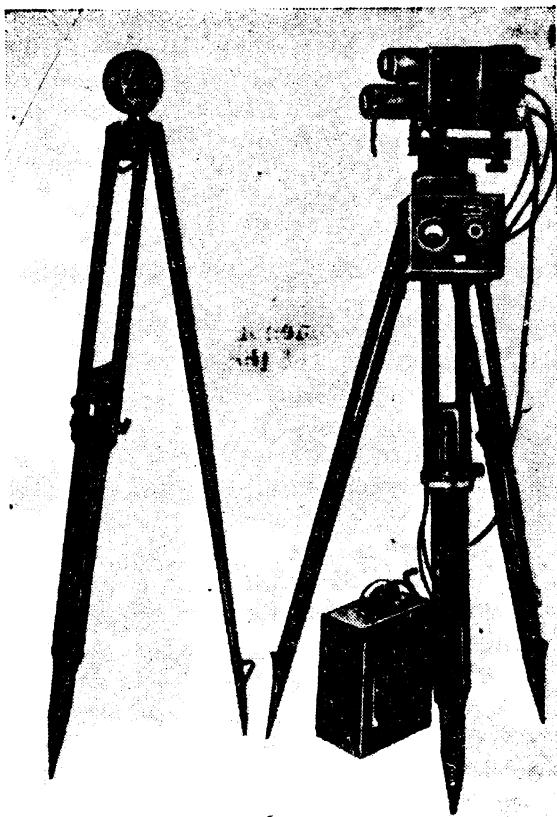


شکل ۳-۴ تصویر مسافت یا ب لیزری

مشخص گردد. گزارش‌هایی از تجارت بعمل آمده بر روی مسافت یا ب لیزری که بطور مناسب تهیه شده نشان میدهد که از این دستگاه می‌توان بعنوان ارتفاع سنج استفاده نمود و این دستگاه همچنین برای اندازه گیریهای دقیق و چک کردن ارتفاع سنج‌های معمولی در شرایط مختلف پرواز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پروازهای تجربی نشان میدهد که با کمک ارتفاع سنج لیزری که بطرز خاصی ساخته شده و در فضا نگهداری می‌شود ارتفاع ۳۰۰ متر را می‌توان با دقت $1/5$ متر اندازه گیری نمود جالب اینست که هنگامی که سطح زمین پوشیده از درخت یا جنگل است اشعه منعکسه

دارای خاصیت دو گانه می باشد این پدیده باین علت بوجود می آید که دو انعکاس یکی از نوک درختان و دیگری در سطح زمین صورت می گیرد اثر انعکاسی دو گانه این امکان را بوجود می آورد که ارتفاع مطلق



شکل ۴-۳۸ تصویر مسافت یاب لیزری ساخت شوروی

درختان را اندازه گیری نمود . و در اینجا یکی دیگر از کاربردهای رادار لیزری در چنین شرایطی که نمی توان از رادار ارتفاع سنج معمولی استفاده نمود مشخص می گردد . شکل ۴-۳۸ تصویر یک نوع

لیزر مسافت یاب را که در شورروی ساخته شده نشان میدهد این دستگاه بمنظور اندازه گیریهای دقیق فواصل حداکثر تا ۲۰۰۰ متر ساخته شده حدود دقت اندازه گیری در طول تمام این فاصله برابر ۲ متر می باشد (بدین معنی که حد اکثر اشتباہ ممکنه ۲ متر می باشد) منبع تابش این دستگاه یک لیزر نیمه هادی با طول موج ۸۶۰۰ آنگستروم و قدرت تابش آن برابر 5mW می باشد. دستگاه مسافت یاب حاوی یک سیستم مخصوص به وزن ۶ کیلو گرم می باشد و قسمت مربوط به اندازه گیری آن وزنی در حدود ۵ کیلو گرم و قسمت مولد نیروی آن دارای وزنی برابر ۱۵ کیلو گرم است و مخزن باطری آن قادر است دستگاه مسافت یاب را برای مدت ۵۰ ساعت بطور مداوم در حال کار کردن نگاهدارد.

لیزر در جستجوی اقمار

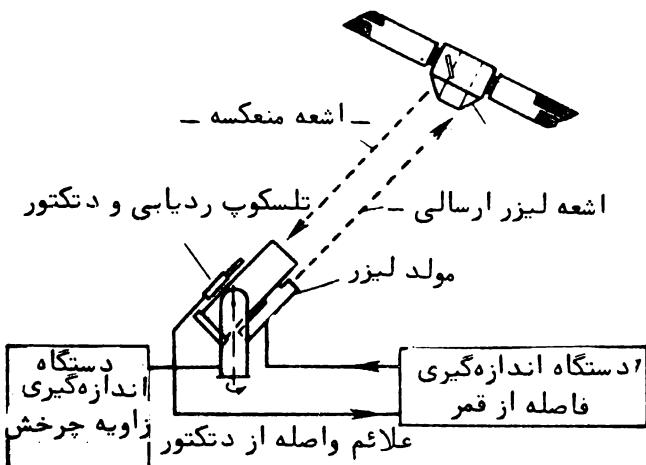
تعداد بیشماری از اقمار در فضا موجودند این اقمار متنوع ترین هدفها را در بردارند برای مثال اقمار زمین پیما کمک می کنند تا اطلاع دقیق و زیادی در زمینه ترکیب و ساخت زمین بدست آورد . سرعت و ارتفاع اقمار مصنوعی ثابت نبوده و بازمان تغییر می کند، و مشخصاتی که بدست می آیدجهت کسب اطلاعات بسیار دقیق درمورد پارامترهای سیارهای بسیار با اهمیت تلقی میشوند ، برای مثال اطلاعات جمع آوری شده با استفاده از لیزر هنگام پرواز اقمار مصنوعی اطلاعات

کاملی را در مورد عمق یکی از قسمتهای اقیانوس هند در برداشت. لازم به تذکر است کاربرد لیزر قبل از اینکه کمپانی‌های متعدد و نیروی هوائی امریکا از آن بهره برداری نماید مورد بهره برداری در تکنولوژی فضایی قرار گرفته است. ردیابی اتمام مصنوعی نیز قبل از بکار گیری لیزر در این زمینه فقط در مواردی که قمر مورد نظر بوسیله خورشید مورد تابش قرار می‌گیرد و درحالیکه ایستگاه زمینی در سایه قرار دارد امکان پذیر می‌گردد.

برای بدست آوردن کلیه اطلاعات لازم در زمینه پراکندگی میدان جاذبه زمین مبایستی تمام پارامترهای مدار قمر را در اختیار داشت علی‌الخصوص هنگامی که قمر وسیله خورشید روشن می‌گردد. بکار گرفتن لیزر این امکان را فراهم می‌سازد که کلیه اطلاعات در زمینه پارامترهای قمر مصنوعی چه در شب و چه در روز کسب محدوده اندازه گیری بدینوسیله بدست آید، یکی از تجاربی که در این زمینه در ایالات متحده آمریکا کسب شد حاوی نتایجی بود که پاسخگوی برخی از مشکلات در رابطه با کاربرد لیزر و ردیابی هواپیمائي که در خارج از جوپروازی کنده بود، همانطوریکه در شکل ۳۹-۴ دیده می‌شود یک تلسکوپ نوری که بطرف جسم در حال پرواز در فضا نشانه روی شده مجهز به یک دستگاه لیزر می‌باشد که بطور متناوب مبایستی قمر متحرک را روشن کند همچنین یک منعکس کننده گوشه‌ای که بر روی قمر مصنوعی قرار گرفته که اشعه لیزر را به طرف دستگاه ردیاب منعکس می‌کند. اشعه منعکس شده بوسیله یک سلول تکثیر کننده الکترونی دریافت شده بدینوسیله فاصله قمر و نیز خطای حاصله از

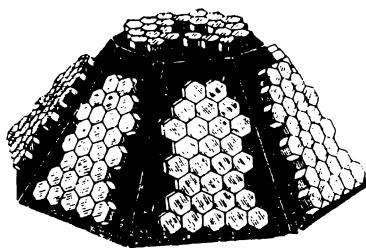
اندازه گیری محاسبه می گردد.

تجربه فوق بر روی قمر $S-66$ که در محوری بارتفاع ۱۰۰۰ کیلومتر حرکت می کرد انجام پذیرفت قمر مذکور مجهز به یک سیستم



شکل ۴-۳۹ طرح سیستم ردیاب اقمار مصنوعی

ثبت مغناطیسی می باشد و کارش اینستگه قمر را در وضعیتی قرار دهد که محور آن موازی به میدان مغناطیسی زمین باشد این قمر به آرامی در اطراف محور خود میچرخد و منعکس کننده های گوشه ای بنحوی بر روی قمر تعبیه شده اند که هنگامیکه قمر در نیمکره شمالی زمین حرکت می کند این منعکس کننده ها بطرف زمین باشند، تعداد قطعات منعکس کننده مجموعاً ۳۶۰ عدد و هر یک دارای سطح مقطعی برابر با $2/6$ سانتیمتر مربع می باشند (شکل ۴-۴۰). شعاع ارسالی به این سطوح مقطع تحت زاویه بسیار کوچک ($4-40$ رادیان) از آن منعکس



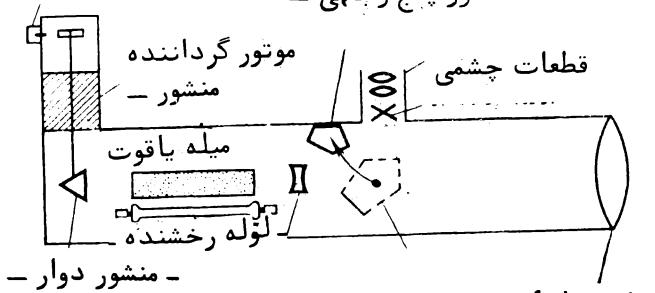
شکل ۴-۴ سیستم منعکس کننده قابل نصب بر روی اقمار مصنوعی

میگردد. در شکل ۴-۴ طرح یک فرستنده را که حاوی یک لیزر با قوتوی و یک کولیماتور نوری میباشد دیده میشود. در این طرح یک عدسی و یک منشور پنج ضلعی این امکان را برای پژوهشگر بوجود میآورد که بتواند با دقت عمل زیاد ردبایابی را انجام دهد، منشور منعکس کننده دیگری نیز در داخل دستگاه وجود دارد که بواسیله یک موتور میتواند با سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه بچرخد، این منشور جهت مدولاسیون نور تعبیه شده، پالسهای تولید شده توسط لیزر برابر یک پالس در ژانیه میباشد و قدرت خروجی این لیزر تقریباً برابر یک ژول میباشد.

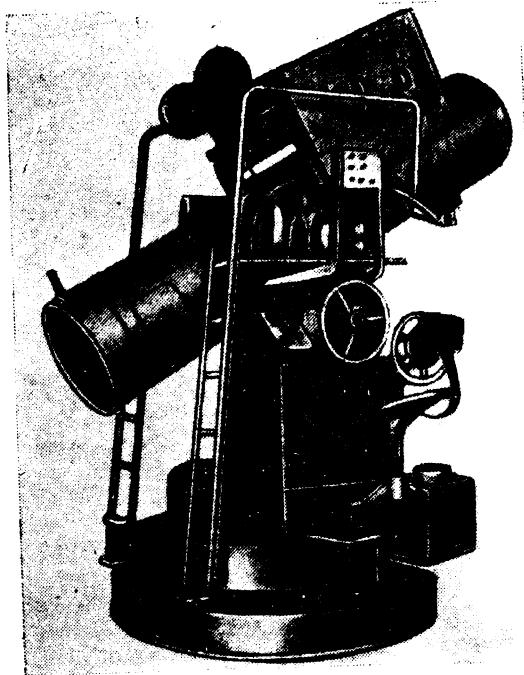
سیستم دریافت کننده که معمولاً در تلسکوپهای ردیاب وجود دارد بجای دوربین فیلم برداری قرار دارد. در شکل ۴-۴ طرح یک تلسکوپ ۴۷ سانتیمتری که در ایستگاه وال استاپ (واقع در ژیره وال استاپ آمریکا) جهت انجام کارهای تجربی نصب گردیده مشاهده میشود. روش محاسبه فاصله یک قمر مصنوعی در شکل ۴-۴ نشان داده

سیستم مغناطیس

- منشور پنج وجهی -



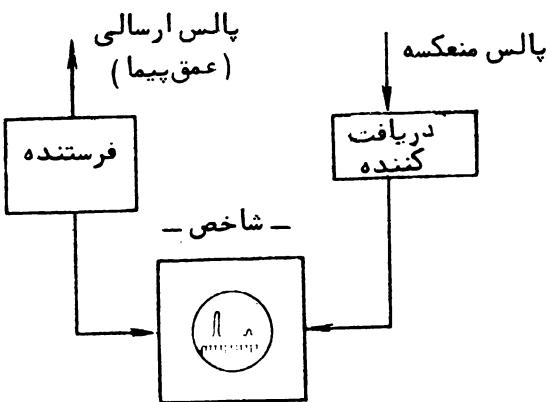
عدسی شیئی ۱ (شکل ۴-۴۱)



شکل ۴۲-۴۵ دوربین بالستیک مخصوص ردیابی اقمار مصنوعی

شده همانطور که در شکل دیده می شود هنگامی که اشعه ردیاب جهت بررسی و تعیین موضع قمر از دستگاه فرستنده ارسال می گردد بر روی صفحه ثبات علامتی رسم می گردد و اشعه منعکسه نیز پس از برخورد با قمر هنگام بازگشت نشانه ای بر روی صفحه ثبات رسم می نماید، فاصله بین پالس ارسالی و بازگشت آن (فاصله بین دو علامت رسم شده بر روی صفحه) زمان را نشان میدهد ، اعتقاد بر اینستکه می توان یک تصویر عکاسی را نیز با استفاده از اشعه منعکس شده تهیه نمود (مشروط بر اینکه قدرت پالس افزایش یابد و از یک دوربین بالستیک در این زمینه استفاده شود) در اینصورت رد یابی زاویه ای در هنگام شفق و بین الطلو عین امکان پذیر خواهد گردید. تصاویر را هنگام روز نمیتوان تهیه نمود و فقط با کمک یک فتو دتکتور و بکار گرفتن فیلتر های مخصوص میتوان علائم ثبت شده را از سایر علائم مزاحم و اصله از فضای جدا نمود. حد کار آئی این سیستم تا حدود ۱۵۰۰ کیلو متر می باشد و مختصات وسیله نقلیه فضائی هر ده ثانیه یکبار اندازه گیری میشود محاسبات علمی نشان میدهد از نتایجی که از این راه بدست می آید می توان خط سیر قمر مورد مطالعه را با حدود دقیق ۳۰ متر اندازه گیری نمود. مشکل اصلی که در این آزمایشات وجود دارد بر طرف کردن انحنای موجی است که از جسم بطرف زمین می آید که با بکار گرفتن کامپیوترهای الکترونی راه حلی نیز برای این مشکل پیشنهاد خواهد شد، و دانشمندان امریکا جهت رفع این مشکل سیستم های کامپیوتری را در نقاط مختلف زمین نصب نموده اند. و اولین تجارت در این زمینه در سال ۱۹۶۴ با ردیابی

قمر مکتشف ۲۲ بمرحله عمل درآمد اولین تلاشها برای دریافت علائم منعکسه باشکست مواجه گردید.



شکل ۴۳-۴ طرح سیستم محاسبه فاصله اقمار مصنوعی

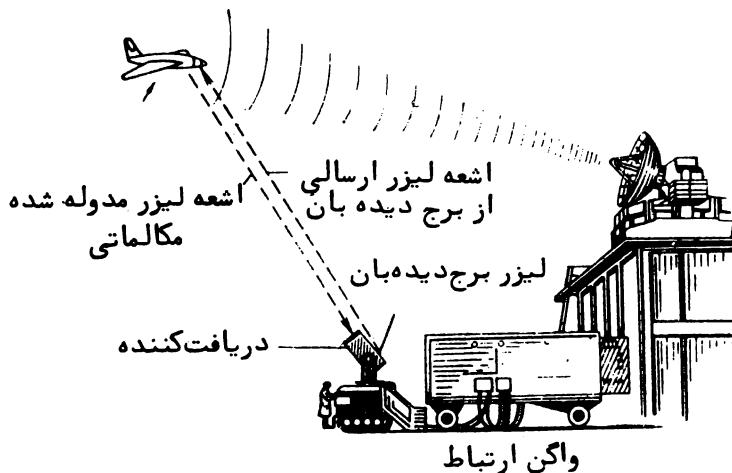
دانشمندان این امر را به مشکلات حاصله در ردیابی دقیق قمر و تداخل جوی مربوط دانستند؛ دانشمندان فرانسوی شانس بیشتری در این زمینه را داشتند. و این درحالی بود که دانشمندان امریکائی در این تجربه با شکست روبرو گردیدند، در پایان سال ۱۹۶۵ یک سری تجربیات بوسیله محققان رصدخانه (Michle-de-Province) در ردیابی همین قمر مصنوعی با بکارگیری وسائل موجود در این رصدخانه کسب گردید. مدت دوام هر پالس که در این تجربه به جهت ردیابی قمر ارسال میگردید برابر 10×3 ثانیه بود و فاصله بین ردیاب

و قمر مصنوعی برابر $1517/99$ کیلو متر محاسبه گردید (با حداکثر 8 متر خطا) هنگام رد یابی و دید زنی قمر در این تجارت میباشد فاصله بسیار زیاد بین رصدخانه و قمر (بیش از 1500 کیلومتر) و سرعت فضائی ($10^4 \times 2$ کیلومتر در ساعت) و نیز ابعاد کوچک قمر مورد مطالعه (برای مثال قطر مکتشف 22 برابر 6 سانتیمتر می‌باشد) و زمان کوتاه ارسال پالس که برابر سیصد میلیونیم ثانیه می‌باشد را در نظر گرفت، به قول یکی از دانشمندان بذله‌گوی فرانسوی اینگونه تجربیات را میتوان با کار یک شکارچی، ماهر که میخواهد چشم مگسی را که با سرعت سیر 100 کیلومتر در ثانیه حرکت میکند از فاصله 5 کیلومتری مورد هدف قرار دهد مقایسه نمود. چندی بعد در ماه فوریه 1965 همین تجربه بواسیله دانشمندان امریکائی با موفقیت به مرحله اجرا درآمد و هنگامیکه قمر مصنوعی در ارتفاع 950 کیلومتری پرواز می‌نمود اشعه منعکس از این قمر بواسیله دانشمندان در پایگاه هوایی هنسفیلید آمریکا دریافت گردید. موفقیت حاصله در این زمینه این نتیجه را در بردارد که میتوان بواسیله لیزر فاصله بین نقاط دور دست سطح زمین را اندازه گیری نموده و علاوهً متعددی به اقمار مصنوعی ارسال داشت.

استفاده از لیزر در تجهیزات فضائی

در زمانی قبل از پرواز جمینی-۷-(۱) همراه با دو خلبان سرنشین به فضا پیشرفت آزمایش‌های ارتباط هوا به زمین بواسیله لیزر در ایالات

متحده امریکا به مرحله نکامل خود رسیده بود و ارتباط بین زمین و فضایپما بوسیله یک شعاع لیزر انجام میگرفت . طبق برنامه های تنظیمی در نظر بود از این روش هنگام روانه کردن فضایپما (آپولو و جمینی) بمنظور انتقال مکالمات ارتباط از درون دیواره پلاسمای هنگام ورود استفاده شود . علاوه بر این بنابر اعتقاد متخصصین با این روش تعیین ویژگی های نور لیزر هنگام عبور از آتمسفر و نیز توانائی فضایپما جهت تعیین موضع ایستگاه ارتباطی در روی زمین امکان پذیر میگردد . این روش ابتدا بوسیله یک هوایپما جت مورد آزمایش قرار گرفت . سیستم ارتباطی لیزر از سه قسمت تشکیل شده بود ، یک راهنمای لیزری روی زمین یک سیستم فرستنده لیزری که در فضای نگهداشته میشود و سیستم دریافت کننده زمینی . راهنمای لیزری (برج نوری) که برای ارسال علامت و هدف قراردادن فرستنده فضایی بکار گرفته میشود . جهت اطمینان از یک رد یابی مداوم بوسیله دستگاه رد یاب قسمت ارسال کننده لیزر و راهنمای آن هردو بر روی سکوی یک رد یاب معمولی نصب گردیده . هنگام برقراری ارتباط بوسیله سیستم لیزر هوایپما جت پرواز معمولی و روزانه خود را انجام میدادو معمولاً درست قبل از غروب خورشید این پرواز انجام می شد ارتفاع پرواز بین ۳

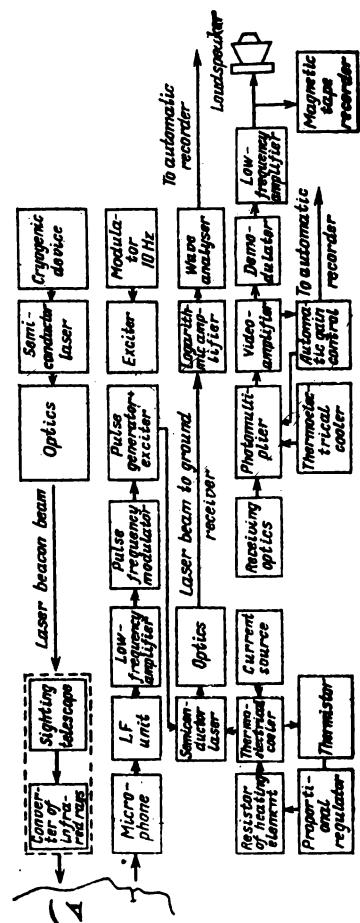


شکل ۴۴ - ۶ ایستگاه ارتباط لیزری با اقمار مصنوعی

تا ۱۲ کیلومتر بالای زمین و درجهٔ خلاف عقربه ساعت با سرعتی بین ۵۰۰ تا ۱۳۰۰ کیلو متر در ساعت در یک مسیر بیضوی که طول مسیر شیدار آن برابر $110 \cdot 8$ کیلومتر بود. در اینحال فاصله آن نسبت به ایستگاه زمینی بین ۸ تا 23 کیلومتری بود. از آنجا که هدف بکارگیری سیستم ارتباط لیزری با فضاهوایپماهای سرنشین دار بود لذا پروازهای هوایپمای جت مذکور در حقیقت وانمود رديابي فضا پيمای سرنشين دار محسوب ميگردید. يكى از مسائلی که ميبايسنی هنگام آزمایش حل شود اين بود که آيا فضا پيما قادر به آشكار کردن علائم ارسالی از راهنمای لیزر زمینی خواهد بود و آيا خواهد توانست سیستم فرستنده خود را بادقت کافی برای ایجاد ارتباط تلفنی یکطرفه بطرف آن نشانه روی کند یا خير؟ و يكى ديگر از هدفها هنگام آزمایش ارزیابی كيفيت

ارسال علائم مکالماتی بوسیله اشعه مادون قرمز و بررسی پالسهای فیلتر شده ارسالی بود. متخصصین امریکائی امیدوار بودند که نتایج این آزمایشات میتواند کمکی در روشن ساختن تأثیرجو زمین در انتشار نوسانات نوری داشته باشد علائم دریافت شده در ایستگاه زمینی در اوین آزمایشها قابل درکنبد آزمایشها مجدداً تکرار شد و علائم ضبط شده قابل درک گردید لیکن از کیفیت خوبی برخوردار نبود معهذا این تجارب امکانات بهره برداری از کاربرد لیزر را در ارتباطات زمین به هوا بخوبی نشان داد، و متخصصین که دست اندر کار این پروژه بودند با این نتیجه رسیدند که ایجاد یک سیستم ارتباطی که عملاً قابل بهره برداری بگونه فوق باشد مستلزم پیشرفت بیشتر و قابل اعتمادتری در زمینه نشانه روی و متوازن کردن سیستم دارد، یک طرح ساده سیستم ارتباط بوسیله لیزر در شکل ۴۵-۴ نشان داده شده است که از یک برج نوری حاوی لیزر نیمه هادی گالیوم آرسنید عنوان مرکز راهنمای برای فرستنده نصب شده در قمر تشکیل شده است. از آنجا که پوشش فرستنده برای نقطه‌ای که گیرنده وجود دارد (در فاصله ۱۶ کیلومتری) دارای قطری برابر ۳۰ متر می‌باشد، هدف گیری شعاع اهمیت فوق العاده‌ای دارد. و اگر ائمی تابش راهنمایی کننده (برج نوری) برابر 10^{-3} رادیان و قدرت طیش آن برابر یک وات و مدت زمان تداوم آن برابر ۵ میکرو ثانیه انتخاب شده است. طول موج راهنمای برابر $A^{\circ} ۸۴۰۰$ انتخاب و تلسکوپ رؤیت کننده فضایی در پروازهای آزمایشی جهت برقراری ارتباط بوسیله لیزر مجهز به یک تبدیل کننده حساس و مناسب برای دریافت باند ارسالی از برج نوری

می باشد ، سیستم دریافت کننده نیز مجهز به کلکتوری حاوی یک منعکس کننده غیر کروی و یک آینه ثانویه کروی می باشد که امواج هرز را باعبور علائم رسیده از یک فیلتر چند لایه که دارای باند عبوری برابر 50° است از محیط دور می نمایند سپس علائم فیلتر شده فوق از داخل یک دیافراگم که دارای زاویه دیدی برابر 100° رادیان است عبور می نمایند و بعد از این نور بر روی یک سلول تکثیر کننده



الکترونی متعر کز و جریان حاصله از آن به یک تقویت کننده ویدیو فرستاده میشود. برای پائین آوردن میزان امواج هوز واصله به حدی پائین تر از آستانه عمل آشکار ساز سیستم دریافت کننده، ولتاژی را که از تقویت کننده ویدیو بددست می آید از داخل یک فیلتر^۱ عبور داده سپس بوسیله دستگاه یکسو کننده آنرا به جریان یک طرفه تبدیل و برای تنظیم سلول تکثیر کننده الکترونی از آن استفاده می نمایند. یک سیستم ارتعاشی نیز تولید یک سری پالس های را می کنند که فرکانس آن به وسیله پالس های ورودی ویدئو محاسبه می گردد. سیستم دریافت کننده بوسیله یک دریچه اتوماتیک که در قسمت کلکتور آن نصب شده در مقابل نور خورشید حفاظت می گردد این دریچه فقط هنگامی باز میشود که سطح تابش خورشیدی در حد بی خطر و مطمئن باشد. لیزر فرستنده ۵/۴ کیلو گرمی مجهرز به یک تلسکوپ دیده بانی است و تشکیل شده از یک لیزر نیمه هادی گالیوم آرسنیک، یک سیستم مدولاسیون و دستگاه کنترل کننده و نگهدارنده باطری، قدرت خروجی فرستنده برابر ۵ وات بوده و هنگام مخابره متصلی ارسال از یک بلندگو که در داخل فرستنده کار گذاشته شده استفاده میکند. کلام گوینده بداخل یک تقویت کننده هدایت (جاییکه تقویت و تراکم در محدوده دینامیک بمنظور جلو گیری و حفاظت از هر گونه تداخلی انجام میگردد) میشود. علاوه خروجی تقویت کننده بسوی یک مدولاتور فرکانس ارسال میگردد این مدولاتور ایجاد یک سری پالس های را می نماید که از داخل تحریک کننده یک لیزر نیمه هادی و یک خط تأخیر کننده و

سویچ ترانزیستور عبورمی کند هنگامیکه سویچ ترانزیستور بوسیله ولتاژ مدولاتور بــکار آنــداخته میشود خط تأخیر کننده بــداخل انتقال دهنده تخلیه میشود و بدینوسیله دستگاه خروجی لیزری که طول موج 890°A را تولید می کند تحریک درجه حرارت لیزر بطور دقیق و معین بوسیله سرد کننده ترمومترکنترلریک بر روی درجه حرارت 16°C ثابت نگهداشته میشود . طول موج مادون قرمزی که از لیزر خارج می شود با استفاده از یک عدسی که دارای فاصله کانونی ۷ سانتیمتر می باشد بطرف سیستم نوری هدایت میگردد . واگرایی اشعه لیزر در این حالت بر ابر 10×2 رادیان می باشد در گزارشهائی که از پرواز فضــاپیمای جمینی ۷ بدست آمده بعد از دوتلاش ناموفقی که برای برقراری ارتباط بازمیں بعمل آمده (بعثت نقائص موجود در سیستــم زمینی) ارتباط دریکصد و پنجمین باریکه جمینی مسیر خود را طی میکرد بوسیله لیزر برقرار گردید ، این ارتباط بطور کاملاً رضایت بخشی برای مدت دو دقیقه برقرار و برخی از اطلاعات در این فاصله زمانی ارسال گردید و باین طریق امکان برقراری ارتباط فضــاپیمایی ثابت گردید .

ارتباط با فضــاپیمــا هنگام ورود مجدد به جو زمین

برای اینکه پروازهای فضــاپیمــا با موفقیت توأم باشد میباشد کنترل زمینی بر روی فضــاپیما بطور دائم انجــام گیرد . همانطور که میدانیم هنگامیکه فضــاپیمــا مجلدــاً وارد جــو زمین میگردد بدنه آن

بشدت گرم میشود و این بخاطر سرعت زیاد فضایپیما و مقاومت بسیار زیادی است که در اثر جو متراکم ایجاد میشود. گاز موجود در لایه مرزی زمین بین سطح تماس فضایپیما و سطحی از فضایکه ضربه‌به‌آن وارد شده کاملاً^۱ یونیزه میگردد و بدین طریق یک پلاسمای با درجه حرارت فوق العاده زیاد در اطراف فضایپیما تشکیل میگردد که ممکن است بطور کلی پوششی در اطراف فضایپیما و دستگاه ارتباطی با فرکانس زیاد(موجود در فضایپیما) ایجاد کند و این یک لحظه بحرانی جهت برقراری ارتباط رادیوئی میباشد.

غلفت الکترون آزاد در لایه گاز یونیزه خیلی بالارفته و این باعث میگردد امواج رادیوئی بوسیله لایه پلاسمای منعکس و یا بوسیله گازهای یونیزه شده جذب گردند هنگام قطع ارتباط با فضایپیما نمیتوان آنرا با برنامه تنظیمی کنترل نمود و ارسال برخی از اطلاعات مهم هنگامیکه احتمالاً فضایپیما با مشکلاتی در این هنگام روپردازی نمیگردد داشتن ارتباط رادیوئی ثابت با فضایپیما ای که در حال مراجعت میباشد بسیار لازم میباشد زیرا این احتمال وجود دارد که فضایپیما احتیاج به دریافت کمک از زمین داشته باشد. لایه پلاسمائی که اطراف پوسته جسم درحال حرکت را میگیرد کلیه سیستم‌های دفاعی فضایپیما یا جسم متحرک را مختل سازد لازم به توضیح است این سیستم‌ها فقط در صورتی قادر به کار خواهند بود که بطور مدام اطلاعات کافی در مورد هدف و موقعیت خود دریافت کنند. با توجه به مسائل ذکر شده و دلایل بسیار زیاد دیگر تأمین ارتباط با فضایپیما هنگام مراجعت و ورود به جو با سرعتی فوق العاده زیاد و برقراری چنین ارتباطی هنگامیکه این ارتباط بوسیله

گازهای خروجی را کت نیز مختل میگردد بسیار ضروری بنظر میرسد. محاسبات دقیق و بخصوصی جهت رفع این نقیصه بعمل آمده یکی از این محاسبات اندازه گیری بهترین محدوده فرکانس نوری است که در مقابل آن لایه پلاسمای ماکریم شفافیت را داشته باشد. و دیگر اینکه انتخاب شکل مناسب فضاییما بنحوی که در برخی از نقاط ضخامت لایه پلاسمایم وارسال علائم بادقت کم از داخل آن امکان پذیر باشد. برای کم کردن ضخامت لایه پوششی پلاسمای شاید عاقلانه این باشد که رأس فضاییما را نوک تیز انتخاب نمایند آتن فضاییما نیز میباشد درجه نصب شود که حد اکثر فاصله ممکنه را از نوک فضاییما داشته باشد در چنین وضعیتی لایه پلاسمای تأثیر کمتری بر روی آن خواهد داشت. هم چنین پیشنهاد گردیده است که یک میدان مغناطیسی مخصوصی نزدیک آتن فضاییما ایجاد تا بدینوسیله شرایط بهتری جهت عبور امواج رادیوئی تأمین گردد(گرچه یک چنین طرحهای خودبروزن فضاییما می افزاید). غلظت یونهای آزادرا ممکن است بواسیله داخل نمودن مواد مخصوصی در پلاسمای در قسمت نوک فضاییما کم نموداین مولدرجه حرارت گازرا کم نموده و موجب ترکیب مجدد الکترون و یونها می گردد البته در صورتی امکان پذیر است که فضاییما با سرعتی نسبتاً کم حرکت کند و مواد مخصوص در این نواحی را خنثی نمایند. همچنین پیشنهاد گردیده که این ماده به شکل قطرات میکروسکوپی باردار(بابار منفی) انتخاب شوند و بالاخره توصیه گردیده که در اطراف سطح خارجی فضاییما از فوارههای خنک آب برای ازبین بردن پلاسمای در اطراف آتن استفاده شود کلیه

این نتایج بهیچوجه باسانی قابل پیاده کردن نبوده و اغلب آنها باعث افزایش وزن فضایپما میگردد و نمیتواند ضمانتی دربرقراری ارتباط در لحظهورود مجدد فضایپما به جو را داشته باشد. مشکل مشابه دیگری نیز در برقراری ارتباط با فضایپما هنگام مطالعه و اکتشاف سیارات مجاور نظیر مریخ، زهره، مشتری نیز پیش میآید این سیارات دارای پوششی جوی با غلظت معین میباشند و تازمانی که تدبیر صحیحی در این زمینه نشده ارتباط فضایپما هنگام ورود به جو این سیارات بازمیں قطع خواهد شد. نمونهای از آنرا میتوان دستگاه تحقیقاتی آمریکا که در سال ۱۹۶۴ که جهت تعیین ترکیب و غلظت جو مریخ ارسال شد مثال زد که درست در زمانی که سفینه تحقیقاتی به لایه غلیظجو مریخ وارد شدار تباط آن قطع گردید و هیچگونه اطلاعی راجع به ترکیب و غلظت لایه اخیر بزمیں نرسید. همانطور که میدانیم یک شعاع نور لیزر میتواند نسبتاً براحتی از داخل پلاسمما عبور کند لذا با توجه به این حقیقت جستجوی یک راه حل مؤثر جهت برقراری ارتباط تحقیقات گسترهای رد مطالعه شرایط عبور امواج لیزر مدوله شده از داخل پلاسمما بعمل آمد و قرار براین شد که در بحرانی ترین شرایط پرواز یعنی هنگام ورود فضایپما به جو ارتباط بوسیله لیزر صورت گیرد مشکلات موجود در این ارتباط بشرح زیر مشهود گردید که به ذکر آنها میپردازیم ۱- انتخاب روش مدل اسیون مؤثر جهت شعاع لیزر ۲- ازبین بردن اثرات ناشی از جذب بوسیله آتمسفر ۳- ردیابی دقیق و ثابت نگهداری شعاع نورلیزر در نقطهای که فضایپما قرار دارد، با وجود این مشکلات میتوان امیدوار بود که بتوان در آینده با استفاده

از لیزر ارتباط با فضای پیمارا در لحظه بحرانی و رود به جو برقرار نمود.
اکتشاف و بهره برداری از لیزر رجهت بر قراری ارتباط در زیر دریا
عمده ترین وسیله برای برقراری ارتباط زیر دریائی های مدرن
با استفاده از امواج رادیوئی صورت میگیرد.

برخی از دانشمندان معتقدند که فقط امواج بلند و فوق العاده
بلند جهت برقراری ارتباط با زیر دریائی ها مناسب می باشند و هیچگونه
امکان ارتباط با جسمی که در عمق دریا وجود دارد بوسیله امواج
متوسط و کوتاه امکان پذیر نمی باشد، علت این امر اینستکه اینگونه
امواج بوسیله آب جذب یا پراکنده میگردند لذا امواج کوتاه قادر
نخواهند بود که بطور عمیق در آن نفوذ نمایند. لازم به تذکر است
برقراری ارتباط با استفاده از امواج با طول موج بلند نیز کار آسانی
نبوده و احتیاج به یک فرستنده قوی دارد برای مثال کافیست متند کر
شویم که چنانچه از یک فرستنده مخصوص ایستگاه رادیو که با یک
طول موج فوق العاده بلند کار میکند استفاده کنیم نیاز به فرستنده ای
با قدرت ۲۰۰۰ کیلووات دارد و آنچه این ایستگاه میباشد روی
۲۶ برج در ارتفاع ۳۰۰ متری زمین قرار گیرند. طبیعتاً یک چنین سیستم
آنچه رانمی توان بر روی زیر دریائی نصب نمود.

در این صورت زیر دریائی ها دارای ارتباط یک طرفه برای دریافت خواهند
بود و برای ارسال هر گونه خبری کارکنان کشتی میباشد کشتی
را بر روی آب آورده و پیام را بوسیله فرکانس های مختلف ارسال
نمایند و در همین لحظه پیام زیر دریائی گرفته شود تا بدینو سیله موضع
زیر دریائی مشخص گردد. برای ارسال اطلاعات سری نیز از دستگاه

مخصوصی با سرعت زیاد که قادر است ۲۰۰ کلمه خبری را در ثانیه مخابره کند، استفاده می‌کنند برای برقراری ارتباط بین دو زیردریائی یا کشتی مجاور می‌توان از یک باند فرکانس استفاده نمود که البته در این روش جنبه‌های رمزی ارتباط از بین خواهد رفت که برای رفع این مشکل پیشنهاد شده است که از لیزر در برقراری ارتباط زیر دریائی استفاده شود. در امریکا برای این منظور طرح برقراری ارتباط لیزری بر اساس استفاده از لوله‌های زیر دریائی پی‌ریزی گردیده که در صورت موقیت انتظار می‌رود یکی از سریعترین و مفیدترین راهها برای ارسال اطلاعات رمزی مورد نیاز محسوب گردد.

همچنین یک سری برنامه‌های تحقیقاتی گسترشده در این زمینه تحت نظر فیروزی دریائی امریکا شروع شده در این برنامه‌ها سعی براین است که از لیزر برای تهیه دستگاه جدیدی استفاده شود. تحقیقات نشان میدهد که طول انتشار تابش در آب دریا اساساً استنگی به میزان جذب تابش مواد مختلف محلول در آب دریا و همچنین به میزان پراکندگی آن بوسیله ذرات معلق در آب دارد. در برخی از نمونه‌های آب میزان جذب بطور عمده و قابل توجه بوده و در برخی دیگر آب‌ها نیز میزان پراکندگی زیاد می‌باشد. لازم بتنذکر است که آب نیز مانند هوا دارای شفافیت طیفی مختلف نسبت به نور می‌باشد. و تابش در ناحیه قرمز (ناظیر تابش نور لیزر یاقوتی) بوسیله آب دریا بیشتر از تابش ناحیه طیفی آبی و سبز جذب می‌گردد. بنابراین تابش نور سبز و آبی می‌تواند تا فاصله قابل توجهی انتشار یابد از این‌رو انتخاب فرکانس‌های آبی و سبز برای جستجو و ارتباط بازیز دریا رجحان

دارد. تولید یک منبع قوی نور لیزر نیز در مرکز مطالعه و توسعه لیزر در آمریکا به مرحله تکمیل رسیده است این منبع حاوی مولد کوانتمی اپتیکی و بلور فسفات دی هیدرژن پتاسیم یافسفات دی هیدرژن آمونیم که دارای ترکیبات غیر خطی است میباشد ، شعاع نور که بواسیله لیزر تولید میشود مستقیماً بطرف بلورها که هارمونیکهای بالای آن را جدا میکند متوجه کزمیگردد. تابش در طول موج 5300 \AA که منطبق با منطقه سبز و دارای باندی با عرض 2 \AA است صورت میگیرد و اگر این اشعه کمتر از یک میلی رادیان بوده و قدرت تابش آن برابر 10 کیلووات میباشد. تابش با طول موج 2896 \AA که در منطقه ماوراء بمنفس میباشد نیز با استفاده از لیزر مخلوط گاز آرگون و دی اکسید کربن (1) بدست آمده تابش دیگری با طول موج 3125 \AA در منطقه ماوراء بمنفس حاصل گردید. با استفاده از لیزر مخلوط گادولونیم و سیلیکا بعنوان ماده فعال که بواسیله لوله رخشنده تحریک و تهیه میگردد. یک مدل رادر زیر دریائی اپتوکترونیک که در اطراف یک لیزر قرار دارد در امریکا تهیه گردیده این دستگاه حاوی یک مدار (2) و یک گیرنده و دستگاه ثبات میباشد منبع تابش در سیستم فرستنده دستگاه لیزر میباشد که شعاع آن در یک میدان معینی تابش میکند ، دریافت کننده آن نیز حاوی سیستم اپتیکی با باند نازک که بطور همزمان با شعاع لیزر کار میکند میباشد. اشعهای که از جسم منعکس میگردد بواسیله یک دستگاه تکثیر کننده الکترونی دریافت میگردد و سیستم ثبات آن قادر است تصویری از شیئی مورد مطالعه را ترسیم نماید . بهره دهی یک چنین

سیستمی خیلی بیش از دستگاه تلویزیون های زیرآبی متدائل امروزی میباشد. علت آن اینستکه وسعت عمل چنین سیستمی تا چند کیلو متر میباشد در صورتیکه قدرت پوشش دستگاه تلویزیون زیرآبی از حدود ۱۴ متر تجاوز نمی نماید. همچنین در نظر است برای کشف معادن زیر دریائی از لیزر بدون مواجه شدن با خطری که از استفاده از زمان سنج پژواک که در این زمینه بکاربرده میشود استفاده شود.

توضیح : زمان سنج پژواک دستگاهی است که زمان رفت و برگشت امواج صوتی را ضبط می کند و از این دستگاه در ردمایی یا اندازه گیری فوacial در زیردریا استفاده می شود.

کاربردهای نظامی لیزر

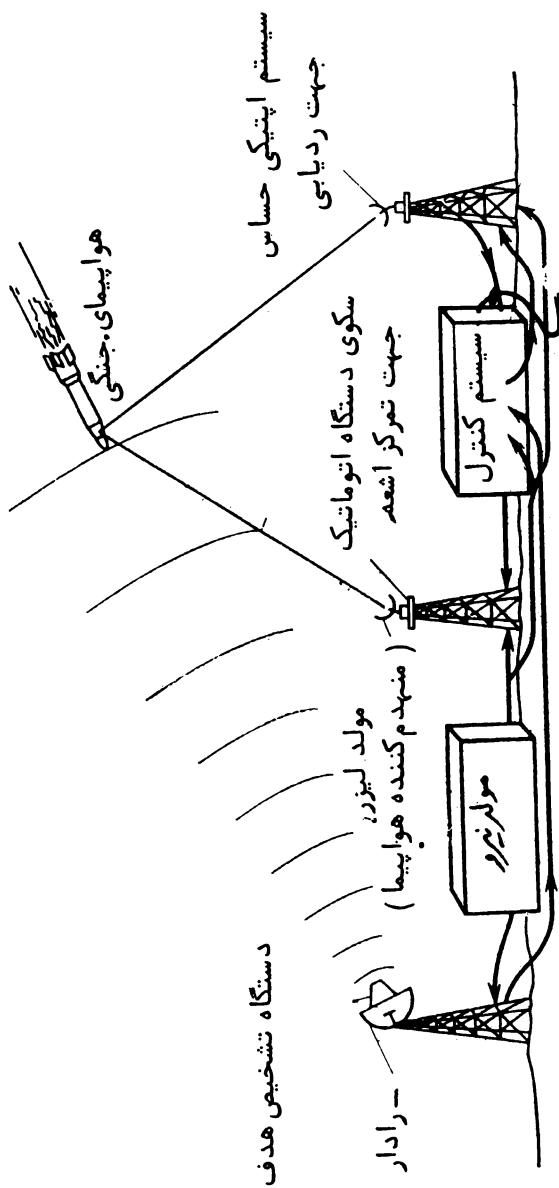
یکی دیگر از زمینه های کاربردی لیزر که بنظر کارشناسان دارای اهمیت ویژه ای می باشد کاربردهای نظامی آن می باشد. تعدادی از کمپانی های امریکائی که تحت نظر وزارت دفاع آمریکا کار می کنند در گیرو دار تهیه دستگاهی با بکار گیری لیزر جهت هدفهای نظامی می باشند. تکنیک استفاده از لیزر در کشورهای دیگر سرمایه داری نظیر فرانسه بریتانیا کبیر و ژاپن بسرعت در حال توسعه و پیشرفت می باشد. متخصصین امریکائی امروزه بفکر بکار گیری لیزر های قوی بعنوان سلاحهای دفاعی علیه هواپیماها و سایر جنگنده های ضد هوائی با توجه به خصوصیات اینگونه لیزر ها می باشند. خصوصیات مهم سلاحهای

لیزری عبارتند از سرعت فوق العاده زیاد (سرعتی معادل سرعت سیر نور که دهها هزار برابر بیش از سرعت هواپیمازن است) و عدم پراکندگی و فقدان نوری امکان بکارگیری در جو بالا و عدم پیچیدگی دستگاه لیزر که در روی زمین بمنظورهای یادشده مورد استفاده قرار میگیرد میباشد. کاربرد سلاحهای لیزری برای از بین بردن کلاهکهای اتمی و هسته‌ای^۱ موشکهای بالستیکی با ایجاد آسودگی کمتر رادیو آکتیویته در جو و فضای بالای جو در مقایسه با بکارگیری ضد هوائیهای مخصوص موشکهای بالستیک مجهز به کلاهک هسته‌ای از مزایای بهتری برخوردار میباشد.

برای از بین بردن موشک دشمن و جلوگیری از رسیدن آن به هدف کافی است که سیستم کنترل آن از حرکت بیافتد و این عمل بوسیله سوزاندن داخل پوسته یاسکان (هدایت کننده) با استفاده از لیزر صورت گرفته و باعث مرتعش شدن موشک و انهدام کامل آن میگردد. شکل ۴-۴۶ شمای سیستم ضد موشک بالستیکی را با بکارگرفتن لیزر نشان میدهد یک چنین سیستمی مجهز به دستگاه دریافت کننده علائم برای آگاهی قبلی و هدف گیری ایستگاه را در آن میباشد این علائم شامل اطلاعات درمورد مختصات موشک نزدیک شونده بوده و ایستگاه رد یاب میباشستی با اندازه گیری فاصله موشک بالستیکی بوسیله رادار بطرف آن نشانه روی نماید یک چنین رادار اپتیکی میتواند اطلاعات دقیقی از مختصات هدف را تهیه نماید و این اطلاعات برای فعال

نمودن سیستم دیگری که حاوی یک لیزر قوی است و برای منهدم نمودن هدف طرح ریزی و آماده شده مفید می‌باشد. رادار نوری، لیزر قوی را در زمان مورد نیاز بطرف آسیب‌پذیرترین نقطه (نقطه‌ای که می‌باشد) سوزانده شود) موشک بالستیکی متوجه کز می‌کند. بنیان گزار این طرح اعتقاد دارد که پس از استفاده از سلاح‌های لیزری تعیین هویت جنگنده پس از ازهاد غیرممکن می‌گردد!

یکی دیگر از طرح‌های تدوین شده سیستمهای دفاعی در مقابله با موشکهای یاد شده طرح ایستگاه فضائی مجهز به دستگاه آشکار کننده هدف و رادار تعقیب کننده مسیر توسط لیزری که بتواند توسط انرژی خورشیدی تغذیه و تحریک شود می‌باشد. یکی از مشکلات اساسی این طرح تهیه سکوئی است که قادر به تأمین ثبات کافی دستگاه با دقت زیاد در ردیابی هدف می‌باشد. برای دستگاهی که می‌باشد منهدم شود باید یک شعاع لیزر در مدت زمان نسبتاً طولانی بطرف آن هدایت شود که این خود نیاز به دستگاه کنترل کننده مکانیکی با سرعت زیاد دارد و مشکلات جدی دیگری که در این طرح وجود دارد عبارت از تمر کز نور بادانسیته کافی بر روی هدف می‌باشد، با وجود لیزرها که با قدرت بسیار زیاد در حدود دهها هزار و شاید هزاران مگاوات تاکنون ساخته شده ایجاد لیزری که بتواند با موشکهای بالستیکی و موشکهای ضد هوایی مقابله کند هنوز مواجه با مشکلات زیاد فنی می‌باشد. توجه بسیار زیادی نیز به تکمیل و استفاده از چند لیزر هم فاز که بتوان از افزایش قدرت تابش نهائی آنها استفاده شود بعمل آمد، همچنین پیشنهاد شده است از لیزرهای پرتابه‌های ضد هوایی که از



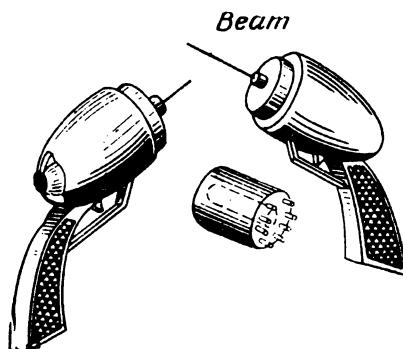
شکل ۴۶-۴ طرح یک سیستم ضد موشک

زمین پرتاب میگرددند استفاده شود اساس کار باین شکل است که هنگامی که جسم پرتاب شونده بطرف هدف روانه میگردد گرداننده دستگاه با برنامه ریزی قبلی آنرا در طول پرواز هدایت میکند تا به هدف برخورد نماید و سپس لیزر آن را درجهت دیگری هدایت نماید و فرض برایستکه از یک چنین سیستمی جهت پرتابه های ضد تانک استفاده شود.

در نیروی هوائی آمریکا دستگاه مخصوصی جهت راهنمائی بمبهای هوائی با استفاده از لیزر ساخته شده راهنمای اینگونه بمبهای با استفاده از انعکاس لیزر که در اثر برخورد با هدف منعکس میگردد امکان پذیر است لازم به تذکر است که لیزری که موضع هدف را روشن میکند از یک منبع مستقل تغذیه میگردد بمبهایی که بوسیله لیزر هدایت میشوند از نوع بمبهای هوائی معمولی میباشند و فقط بجای بال معمولی مجهر به بال قابل کنترل بوسیله لیزر از روی زمین میباشند آزمایش این بمبهای نشان داد که خطای شعاعی احتمالی در برخورد با هدف اینگونه بمبهادر حدود $\frac{1}{10}$ کمتر از خطای است که هنگام استفاده از بمبهای معمولی استفاده میگردد، لازم به تذکر است که آمریکائیها در حملات هوائی در جنگ ویتنام از بمبهای هدایت شونده بوسیله لیزر استفاده می نمودند. دستگاههای لیزر در سیستم های مراقبتی و کسب اطلاعات مقدماتی از وضع دشمن نیز مورد استفاده واقع میشوند اولین دوربین لیزری که برای بدست آوردن اطلاعات از وضع دشمن با مهارت خاصی در نیروی هوائی آمریکا بکار گرفته شد امسکان عکس گرفتن در هنگام پروازهای شبانه را بوجود آورد. متخصصین نظامی آمریکا مسئله استفاده از سلاحهای لیزری را

برای از بین بردن نیروی انسانی مورد بررسی قرار میدهد سلاحهای ممکن است قابل استفاده در این زمینه عبارتند از تپانچه لیزری یا تفنگهای لیزری، برای مثال میتوان از لیزرهای منقطع یاقوتی (شکل ۴-۴۷) استفاده نمود در این حالت منبع تحریک از فشنگهای مخصوص که به هولت قابل تعویض می باشند تشکیل شده میله یاقوت در امتداد محور فشنگ همراه منابع شیمیائی تحریک که بواسیله باطری تغذیه میشوند قرار داردند.

تفنگهای لیزری که برای ارتش آمریکا تدوین شده بواسیله کارخانه میزراپتیک^۱ ساخته شده وزن این تفنگها در حدود $11/3$ کیلوگرم میباشد قدرت این لیزرهای میله یاقوت با طری ذخیره ای که قادر است ۱۰۰۰۰ بار تابش نماید تأمین میشود. میزان آتش اینگونه سلاحها یک بار در هرده ثانیه میباشد سلاحهایی نظیر تپانچه یا تفنگ لیزری میتوانند بچشم انسان آسیب وارد کنند بنحویکه تابش قوى



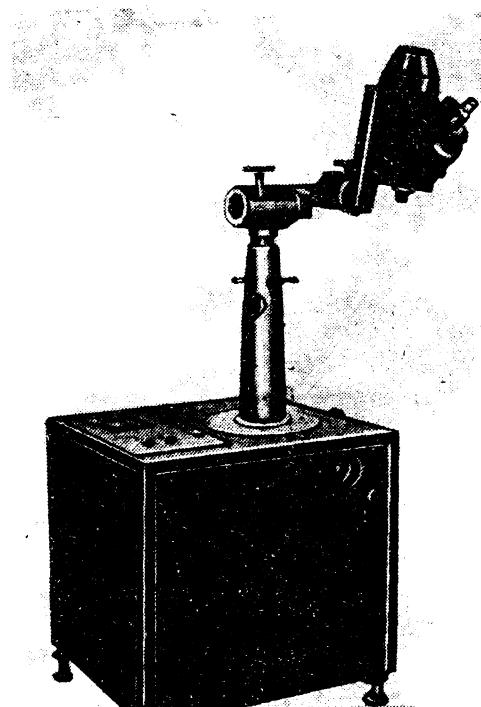
شکل ۴-۴۷ تصویر نمونه ای از سلاحهای لیزری

آنها روی شبکیه چشم متمر کر شده و این عمل بوسیله عدسی های کربستالی صورت میگیرد پالس های اینگونه لیزرها خیلی کوتاه بوده و موجود زنده فرصتی برای دفاع در این فاصله کوتاه ندارد، گزارشها چاپ شده حاکی از اینستکه سلاحهای لیزری بقدر کافی برای هدفهای تخریبی مؤثر نمی باشند فقط در صورتیکه شعاع لیزر به عضو بینائی و آنهم در صورتیکه هدف مستقیماً به مسیر حربه دشمن نگاه کند مؤثر میباشد. در برخی از موارد حتی دود یا مه میتواند از اثر کافی تخریب اینگونه سلاحها بگاهد برای حفاظت از آسیب پذیری چشم انسان در مقابل شعاع لیزر تحقیقات وسیع بالاجام آزمایشات متعددی با استفاده از محلول فتوکرومیک در آمریکا انجام شده است . این محلول هنگامیکه تحت تأثیر اشعه قرار میگیرد تغییر کرده و در مقابل عبور نور کدر می شود یک محلول فتوکرومیک حاوی یک حلال و یک رنگ فتوکرومیک و یک آنزیم (تخمیر کننده) که سرعت عکس العمل را کنترل می کند میباشد یک چنین محلولهای در مقابل اشعه مرئی و ماوزاء بتفش هزار بار حساس تر از چشم انسان می باشد. عکس العمل محلول فتوکرومیک در حدود ده میکر و ثانیه طول میکشد و هنگامیکه شدت تابش کم شده و به حد قابل تحملی می رسد محلول در عرض چند میلی ثانیه مجدداً در مقابل آن شفاف میشود . برای حفاظت چشم در مقابل تابش نور این محلول را در فضای بین دولایه شیشه اتومبیل یا ماسکهای حفاظتی با عدسی های چشمی مورد استفاده قرار میدهند.

کاربرد لیزر در پزشکی و بیولوژی

مشخصات قابل توجه لیزرها نظر جراحان را نیز جلب نموده و ثابت گردیده که شعاع لیزر برای برخی از جراحیها که معمولاً^{*} بواسیله چاقوی جراحی انجام میگیرد مناسب است. در اینگونه جراحی‌ها شعاع لیزر حاصله از یک مولد به داخل لوله انعطاف پذیری که از یک سری شیشه و الیاف پلاستیکی ساخته شده انتشار می‌یابد لوله مذکور به یک عدسی که دارای یک دستگیره مناسب جهت جراحی است منتهی میگردد. این عدسی نور واصله را در نقطه‌ای بقطر تقریبی چند آنگستروم مترا کز میگرداند و با یک چنین ابزاری این امکان بوجود می‌آید که نه تنها برش بافت با اطمینان کامل از نظر استریل بودن آن صورت پذیرد بلکه میتوان بواسیله آن سلو لها را به طور مجزا پاره پاره و تشریح نمود. از شعاع لیزر میتوان بعنوان وسیله‌ای جهت سوزاندن در معالجه سرطانهای پوستی و جراحات پوستی استفاده نمود، در این حالت اشعه لیزر مزیت بینشتری نسبت به وسائل دیگر سوزاننده‌ای که در این زمینه استفاده میشود دارد زیرا اشعه لیزر را می‌توان بعنوان یک وسیله کاملاً عقیم کننده میکرب که هیچگونه عفونت ثانویه پس از جراحی نمیکند بکاربرد و شاید لیزر ارزشمندترین وسیله برای جراحی چشم باشد. حقیقت امر اینستکه اشعه لیزر باشد ت معین میتواند از بافت شفاف چشم بدون آسیب رسانیدن با آن عبور کند و باین صورت عمل جراحی در قسمت زمینه چشم را بدون تحمل درد شدید امکان پذیر سازد زمان تاییدن برای مدت کوتاهی ادامه می‌یابد

و میباشد از رسیدن حرارت زیاد به چشم و یا وارد نمودن آسیب به چشم هنگام انقباض عضلات جلو گیری گردد. اخیراً جراحیهای موفقیت آمیز و متعددی بر روی چشم انجام شده است که در اینجا دو نمونه آنرا ذکرمیکنیم با بکار بردن لیزر بعنوان وسیله جراحی این امکان بوجود آمده تا توموری از شریان چشم جدا نمایند و در مورد دیگر موفقی گردیدند با استفاده از لیزر جدا شدگی شبکیه چشم را با موفقیت جوش بزنند و این متده درمان چشم پزشکی با استفاده از لیزر در شوروی مورد توجه بسیار قرار گرفته و لیزرهای مخصوصی برای اینگونه



شکل ۴۸-۴ دستگاه لیزر مخصوص جراحی چشم

هدفهای پزشکی ساخته شده و اغلب جراحیها که در موسسه افتالموژی فیلاتوودرادسا^۱ با کمک لیزر باجرادر آمده موقیت آمیز بوده و باین طریق تعداد زیادی از بیماران توanstند بینائی خود را بدست آورند، این روش جدید موضوع تحقیق جامع مؤسسه دیگر درمانی شوروی می‌باشد. در شکل ۴-۴۸ تصویر سیستم لیزر افتالموکوآگولیتور^۲ را که در شوروی برای انجام اعمال جراحی پیچیده روی چشم ساخته شده دیده می‌شود. منبع تابش در این دستگاه یک میله یاقوتی قطر ۶/۵ و طول ۵۰ میلیمتر می‌باشد. این لیزر ۴ تابش در دقیقه انجام میدهد و هر یک از این تابش‌ها برای مدت تا ۵ میکروثانیه دوام دارد. انرژی هر پالس بین چند صدم تا یک ژول و مینیمم قطر نقطه تمرکز نور در حدود صد میکرون می‌باشد.

دستگاه مذکور از نیروی ۲۲۰ ولت تغذیه و قدرت مصرف آن برابر ۳۰۰ وات می‌باشد. مواردی که باید شد مطمئناً لیست موارد استعمال ممکنه پزشکی لیزرها نمی‌باشد و لیزرهای موارد استعمال دیگری در تحقیقات و معالجات سرطان داشته و برخی از متخصصان معتقدند میتوانند راهگشای خوبی در تاریخ جدید جراحی سرطان باشد. اولین تجارت در درمان تومورهای بدخیم بر روی حیوانات انجام شد گرچه تا کنون نتیجه قطعی از آن گرفته نشده لیکن نتایج بدست آمده تشویق کننده می‌باشد یکی از تجارت بوسیله لیزر یاقوتی با طول موج ۶۹۴۳A° و لیزر گازی با طول موج ۶۳۲۸A° بر روی خوکچه شامی که با آنها ملانوم فاقد ملانین (ملانوم بدخیم) تلقيق شده بود انجام شد

خوکچه‌های مذکور در معرض تابش قرار گرفته و پس از یک چنین درمانی اثری از تومورها حتی در تحقیقات میکروسکوپی بعدی مشاهده نگردید. انرژی تابشی لیزر یاقوتی در این تجربه در حدود بین ۶۰ تا ۳۸۰ ژول باقدرت تابش 100 MW بود. تومورهای دیگری مانند تومور پیوندشده فیبر و سارکوما بیمیزان کمتری در مقابل اشعه لیزر حساس می‌باشند و در برخی از موارد نمیتوان آنها را نابود کرد. آزمایش مشابه بر روی افراد بیمار انجام شد یکی از این بیماران مبتلا به تومور بد خیم ملانوم همراه با متاستاز پوستی و بافت‌های زیرپوستی بود، قطر متاستازها باندازه یک سانتی‌متر شده بودند تمام این تومورها با یک سری پالس‌های مختلف که مجموع انرژی آنها برابر ۳۶۰ ژول بود مورد تابش قرار گرفتند دوازده روز بعد از تابش تومورها ناپدید گردیدند، این اثر وقتی بیشتر مشخص شد که اشعه متمنکز شده با دانسیته و انرژی کافی به سطح تومور برخورد نمود. (انرژی متمنکز شده به سطحی با قطر 2 mm برابر 150 ژول بود) در برخی از موارد اثر درمانی را میتوان بار نگذشت آمیزی کردن تومور و افزایش قدرت جذب انرژی آن زیاد نمود. مشکلات ناشی از کار برد لیزر در درمان تورهای بد خیم بوسیله مؤسسه ملی سرطان در امریکا نیز بخوبی مورد مطالعه قرار گرفته یکی از مدل‌های لیزر پزشکی که بوسیله این مؤسسه تهیه شده دارای قدرتی برابر $800\text{ ژول و توانایی ایجاد }4\text{ پالس در ثانیه است که دوره تداوم هر پالس آن بین }2\text{ تا }4\text{ میلی ثانیه تغییر میکند. ظاهر این لیزر شبیه‌متنه مخصوص دندانپزشکان می‌باشد که به سقف آویزان و یک سری عدسی منشور و آینه در داخل این دستگاه نصب شده$

که از آنها جهت انتقال انرژی به داخل دستگاه کوچکی که جراح مستقیماً بر روی سطح مورد نظر از آن استفاده مینماید، با کمک این عدسی‌ها جراح میتواند انرژی تابش لیزر را از ۱۰۰ تا ۸۰۰ ژول تغییر دهد میزان انرژی هدررفته در داخل دستگاه هنگام عبور از داخل بازوی متحرک دستگاه بیش از ۸ درصد نمی‌باشد. این لیزر دارای چهار سر می‌باشد که هریک از آنها حاوی یک استوانه از جنس پیرکس با میله شیشه‌ای فعال از جنس شودمیوم می‌باشد. طول میله ۹۱ cm و قطر آن برابر $1/9\text{ cm}$ می‌باشد و داخل استوانه‌ای پر از آب است که جهت خنک کردن از آن استفاده می‌شود این میله‌ها جهت فعال شدن بواسیله یک لوله رخشندۀ ۵ کیلوواتی پمپ می‌شوند.

موقیت‌های دیگری در درمان تومورهای بدخیم سطحی بواسیله لیزر مبنی بر استفاده از لیزر بعنوان یک عامل کمکی جهت برداشتن تومورهای سرطانی از بعضی قسمتهای کبد و ریه گزارش شده است. لازم به تذکر است که در اینگونه جراحیها استفاده از تیغه‌های مخصوص جراحی مخاطره آمیز می‌باشد. زیرا ممکن است استفاده از این تیغه‌ها به برخی از قسمتهای بافت اطراف تومور اصلی آسیب برساند، از اینرو همیشه برداشتن تومورهای بدخیم سطحی بعلت وجود خطر از بین رفتن جان مریض امکان پذیر نمی‌باشد. تجارت بدست آمده بر روی حیوانات نشان میدهد که تومورهای پیوند شده را میتوان بدون اینکه به بافت‌های مجاور اثری گذاشته شود از بین برداشت مخصوص بر اینکه اشعه لیزر بطور مناسب متوجه شود برخی از متخصصین معتقدند که اثر لیزر بر روی بافت‌های معمولی و بدخیم

متفاوت است مخصوصاً وقتی که بافت سلطانی رنگ آمیزی شده باشد، تحقیقات وسیع و دامنه داری در زمینه اثرات بیولوژیکی لیزر بر روی ساختمان آلی موجودات زنده بخصوص بر روی سلول حیوانی و دستگاه اعصاب مرکزی بعمل آمده است. از تجارب بدست آمده روی موش دانشمندان قادر شدند با استفاده از لیزر تغییراتی در بافت قسمتهای مختلف مغز موش ایجاد نمایند، و با توجه به نقطه تمثیل تابش موفق به انها قسمتهای مختلف مغز از پوسته تاچینه‌های عمیق آن، ماده سفید رنگ نخاع و سایر قسمتهای آن گردیدند نکته مهم و قابل ملاحظه بدست آمده از این تجربه این بود که استخوانها جمجمه و غشاء روی مغز دست نخورده باقیماند. در این تحقیقات از یک نوع لیزر یاقوتی که انرژی تابش آن کمتر از ۴۰ ژول بود استفاده گردید. فاصله انتهای لیزر (نقطه خروج اشعه) از حیوانات برابر دو متر بود و اغلب حیوانات هنگام آزمایش به هلاکت رسیدند و تغییرات حاصله در بافتها نیز ظاهرآ هنگام افزایش درجه حرارت در نقطه تمثیل لیزر صورت میگرفت. تحقیقات در این زمینه ادامه دارد.

لیزر و علوم

آزمایش تئوری نسبی اینشتین

یکی از فرضیه هایی که تئوری نسبی اینشتین بر مبنای آن پی ریزی شده ثابت بودن سرعت مسیر نور در خلاء می باشد همانطوری که می دانیم این سرعت برابر $299792/5$ کیلو متر در ثانیه می باشد و آنرا با C نشان می دهند بعبارتی می توان گفت سرعت سیر نور مستقل از حرکت منبع تابش و سیستم دریافت کننده نور می باشد . این فرضیه هنگام انجام آزمایشاتی که بوسیله مایکلسن^۱ و مورلی^۲ صورت می گرفت محقق شد البته کشف این مسئله با توجه به سرعت فوق العاده زیاد نور کار آسانی نیست و مستلزم دقت بسیار زیادی در این زمینه می باشد با وجود این مشکلات مایکلسن و مورلی توانستند با استفاده از یک تداخل سنج نوری که بر روی سطح جیوه ای در داخل یک ظرف شناور بود فرضیه فوق را با ثبات برسانند در این آزمایشات نتیجه گرفته شد که هیچگونه اختلاف زمانی (در

1-michelson

2-Morely

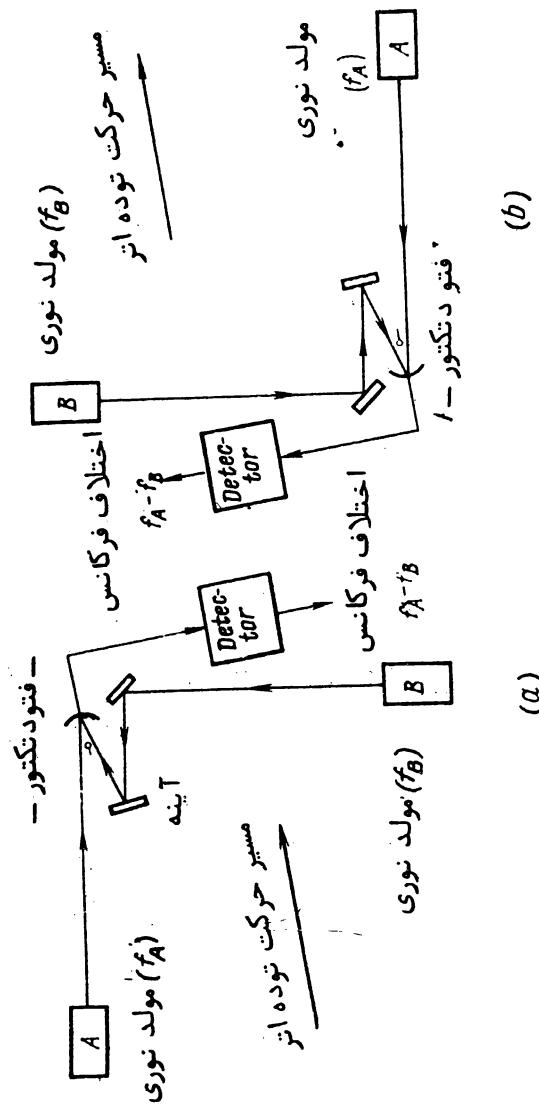
حالات هائی که مبنیع تابش و سیستم دریافت کننده نور نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند) در طی یک مسیر ثابت برای نور مشاهده نمی‌گردد وجود لیزر گازی این امکان را برای محققین یاد شده بوجود آورد تا با دقت بسیار زیادی (حدوداً یکهزار یا بیش از آنچه قبل امکان داشت) آزمایشات خود را انجام دهند یکی از روشهای ممکنه در این زمینه با استفاده از لیزر در شکل ۴-۴۹ دیده می‌شود که علاوه بر رد تئوری اثر ثابت بودن سرعت مسیر نور را تائید می‌نماید در حالت a لیزر A در مسیر جریان اثر فرضی قرار داشته و لیزر B در مسیری عمود بر آن، علائم و اصله از این دو لیزر بواسیله یکدستگاه فتوдетکتور با یکدیگر تداخل نموده و یک اختلاف فرکانس مشخصی از قسمت خروجی این دتکتور بدست می‌آید. در حالت b یکی از لیزرها (در این حالت لیزر A در مسیری مخالف با جریان اثر فرضی تابش می‌کند) و لیزر دیگر (لیزر B) در این حالت نیز در مسیر عمود بر اثر تابش می‌کند، در این حالت نیز علائمی در خروجی فتو-detکتور دال بر اختلاف فرکانس لیزر A و B خواهیم داشت. حال چنانچه اثر تأثیری در سرعت انتشار نور داشته باشد این امر باید موجب تغییر فرکانس (frequency shift) یکی از لیزرهای A گردد، (باید توجه داشت این تغییر با اختلاف فرکانس یاد شده در خروجی دتکتور در حالت a متفاوت است) لیکن هیچگونه اختلافی و تغییری در این تجارت مشاهده نگردیده و باین طریق ثابت شد با تغییر موقعیت (۱) لیزر نسبت به زمین و حرکت اثر فرضی فرکانس

آن تغییر نمی‌کند، و با این آزمایش عدم تغییر سرعت نور با دقت $S / ۰.۳\text{ mm}$ نشان داده شد و با این ترتیب ارزش تئوری نسبیت اینشنن یکبار دیگر بواسیله لیزر آزمایش گردید.

اندازه‌گیری حرکت قاره‌ها با استفاده از لیزر

نظريات موجود مبنی بر تغییر موضع قاره‌های کره زمین همیشه یکسان نبوده و با زمان تغییر پیدا می‌کند بموجب آخرین فرضیات قاره‌ها با سرعت متوسط $۲\text{ تا }۵\text{ سانتیمتر در سال}$ جابجا می‌شوند. اما باید دید چگونه صحت و سقم این مسئله ثابت می‌شود؟

و اگر قاره‌ها حرکت می‌کنند با چه سرعتی این حرکت انجام می‌شود؟ در حال حاضر این امکان وجود دارد که نظریه یاد شده را با استفاده از لیزر بمعرض آزمایشی تجربی قرار داد. یک لیزر هلیوم نئون که بطور ممتد کار می‌کند برای انجام چنین تجربه‌ای مناسب می‌باشد زیرا ثبات و همدوسی تابش لیزر گازی جهت نیل به هدفهای مورد آزمایش مناسب می‌باشد. در اینجا یاد آور می‌شود که طول موج تابش لیزر یاد شده برابر $۱۳۵ / ۱\text{ میکرون}$ و فرکانس نوسانات الکترو-مغناطیسی آن برابر $۱۴ \times ۱۰^۳\text{ هرتز}$ می‌باشد. شکل ۴-۵-۶-۷ طرح استفاده از یک لیزر (با استفاده از پدیده دوپلرفیزو را نشان می‌دهد) در زمینه اثبات حرکت قاره‌ها را نشان می‌دهد اگر فرض کنیم لیزر را در نقطه‌ای که در شکل با عدد یک نشان داده شده قرار دهیم و نور آن بطرف آینه‌ای که در نقطه شماره ۲ قرار دارد متوجه



شکل ۴-۴۹ طرح سیستم تجربی برای آزمایش ثوری نسبیت

گردد حال چنانچه این نقطه در اثر حرکت قاره با سرعت V نسبت به لیزر موجود در نقطه شماره یک حرکت کند مطابق پدیده دوپلرفیزو هنگامیکه اشعه منعکس شده از این آینه و شعاع ارسالی در یکدستگاه سلول تکثیر کننده الکترونی واقع در نقطه یک تداخل نمایند با

استفاده از فرمول دو پلرفیزو ($\Delta f = \frac{V}{\lambda}$) که در آن V سرعت

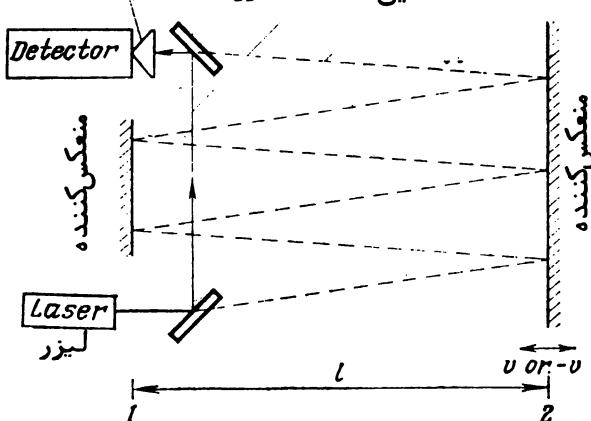
حرکت آینه و N تعداد دفعاتی است که شعاع نور بین نقاط ۱ و ۲ عبور می کند و λ طول موج نور ارسالی (نور اشعه لیزر) Δf تغییر Δf فرکانس حاصله در نور می باشد لذا با در دست داشتن N و λ می توان مقدار سرعت حرکت که در حقیقت همان سرعت حرکت قاره ها است اندازه گیری نمود . (سرعت متوسط ۵ سانتیمتر در سال برابر با ۲۰ آنگستروم در ثانیه می باشد هر آنگستروم معادل با قطر اتم هیدروژن است) . بنظر می رسد حرکت افقی قاره ها احتمالاً در اثر جریان آبهای روی زمینی می باشد ، تنگه بابالمندب و جبل الطارق را بعنوان نمونه جهت اثبات مهاجرت قاره ها می توان مثال زد و آزمایش فوق را انجام داد در چنین حالتی نقاط ۱ و ۲ می باشند در مرز جدائی قرار گیرند .

تغییرات فرکانس حاصله (Δf) در اثر پدیده دو پلرفیزو در این

آزمایشات بسیار ناچیز در حدود $\frac{1}{25}$ هرتز است لذا برای افزایش

میزان تغییرات فرکانس از انعکاس متعدد اشعه لیزر با استفاده از منعکس کننده ایکه در دو طرف مرز جدائی نصب می شوند استفاده می گردد .

نخستین علامت لیزر تکثیر کننده الکترونی



شکل ۴-۵۰ طرح ساده اندازه گیری حرکت قاره ها با استفاده از لیزر

مثلاً فرض کنیم در بین دو نقطه به فاصله ۱۵ کیلومتری نور بتواند ۵۰۰ مرتبه این فاصله را در هر دو طرف به پیماید، این امر باعث می شود که اثر حاصله از پدیده دو پلروفیزو پانصد مرتبه افزایش یابد

$$\text{و برابر } 2\text{ Hz} = \frac{1}{250} \times \Delta f = 500 \text{ گردد و چنانچه لیزری با قدرت}$$

بسیار زیاد بکار گرفته شود ممکن است تغییرات فرکانس حاصله در اثر پدیده دو پلروفیزو افزایش یابد زیرا در اینصورت عبور میزان اشعه بیشتری بین منعکس کننده ها امکان پذیر می گردد. پس بطور خلاصه با محاسبه Δf می توان سرعت مهاجرت قاره ها را از رابطه:

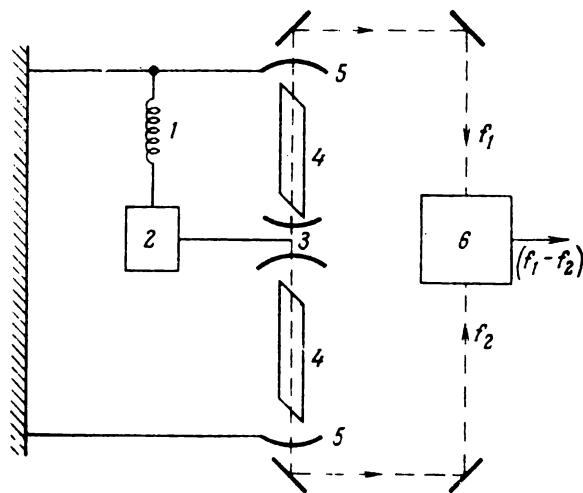
$$V = \frac{\lambda \Delta f}{N}$$

محاسبه نمود . البته توجه داشت تحقیق چنین آزمایشی خالی از اشکال نمی باشد . زیرا اگر مهاجرت قاره ها بطور متوسط ۵ سانتیمتر در سال باشد در این صورت حرکت بطور محتمل یکنواخت نخواهد بود و سرعت و عظمت مهاجرت احتمالاً تابع درجه حرارت ، فشار ، جزر و مدها که با فصول و نیز هنگام روز تغییر می کند می باشد و از طرفی زمین دستخوش ضربه و تکانها و طیش های مخصوص بخود بوده و تمام این عوامل تأثیر نامطلوب بر روی آزمایش دارد و تعیین اثرات یاد شده نیاز به آزمایشی عملی در فواصل بسیار دور دارد و می بایستی هنگام چنین آزمایشی لیزر در نقاط استقرار خود کاملاً ثابت نگهداشته و از ارتعاشات موضعی محل استقرار آن جلوگیری بعمل آید . در صورت موفقیت در اندازه گیری سرعت مهاجرت قاره ها گام بزرگی در زمینه اکتشاف مربوط به علم مساحی (زمین پیمائی) برداشته خواهد شد و همین ایده می تواند در اندازه گیری میزان حرکت توده های یخ غلطان در اقیانوسها مورد استفاده قرار گیرد .

زلزله نگاری بوسیله اشعه لیزر :

لیزرهای مورد استفاده متعددی در وسائل مربوط به علم زمین پیمائی دارا می باشند در شکل ۴-۵۱ تصویر یک دستگاه زلزله نگار دیده می شود که حاوی دو لیزر گازی است و با عدد چهار نشان داده شده یکی از آینه های متعلق به این لیزرهای (که با عدد سه نشان داده شده) بوسیله وزنه شماره ۲ که خود به فنر شماره یک متصل است دارای

حالت تعليق می‌باشد و دو آينه دیگر لیزرهای (شماره ۵) ثابت می‌باشند، با حرکت پاندول (وزنه شماره ۲) طول يکی از دستگاههای زروناتور زیاد و طول دیگری کم می‌شود. نتیجه حاصله از این حرکت تغییراتی مشابه در فرکانسهاي اين لیزرهای (که با f_1 و



شکل ۴-۵۱ طرح دستگاه زلزله نگار (سیسمو-گراف)

f_2 نشان داده می‌شود) ایجاد می‌کند و با استفاده از مخلوط کننده نوری (Optical Mixer) که با شماره ۶ نشان داده شده اختلاف فرکانس ($f_2 - f_1$) بعرض نمایش گذاشته می‌شود، اختلاف موجود متناسب با میدان نوسانات پاندول می‌باشد باید توجه داشت حساسیت اینگونه زلزله نگارها بیشتر از انواع دیگر آن می‌باشد. لیزرهای می‌توانند برای عمق پیمایی جو جهت محاسبه ارتفاع و چگالی در حالت‌های ناپایدار لایه‌های بالای جو که در اثر پدیده‌هائی نظیر

سپیده دم انفجارات خورشیدی، شهاب‌ها ایجاد می‌شود مورد استفاده قرار گیرند. اینگونه سیستم‌ها را که جهت هدفهای فوق بکار گرفته می‌شوند رادارهای نوری^۱ می‌نامند.

سیستم‌هایی که برای این منظورها ساخته می‌شوند از یک دستگاه فرستنده اشعه لیزر و یک دستگاه گیرنده که دامنه و زمان تأخیر علائم نوری منعکسه را اندازه گیری می‌کند تشکیل می‌گردد. از آنجا که هر قسمت از جو بوسیله پالسهای با طول موج معین و بخصوص عمق پیمائی می‌شود لیزری مورد نیاز است که فرکانس آن قابل تغییر بوده و یا اینکه حاوی چند لیزر که هر کدام از آنها مناسب برای جزء بخصوص از لایه‌های بالای جو است باشد. برای محاسبه غلظت ازت ناپایدار^۲ برای مثال هنگام سپیده دم و تعیین پراکندگی فضائی آن در جو یک لیزر قوی نیتروژن با تابش متناوب مورد نیاز است. با افزایش ملکولهای سدیم به ماده فعال لیزر متناوب گازی می‌توان لیزر سدیم تولید کرد که قادر است امواجی با طول موج متعلق به منطقه زرد ازطیف نور را ساطع کند که با آن می‌توان چگالی پراکندگی سدیم را در فضا مورد آزمایش قرارداد. لیزر امکان کشف هوای توپانی را در اتمسفر وجود می‌آورد. محاسبات نشان می‌دهد که ظهور یک چنین سیستمی امکان پذیر بوده و بعنوان یک دستگاه فوق العاده با ارزش می‌توان در آینده از آن برای عمق پیمائی جوی استفاده نمود.

اندازه‌گیری سرعت

با استفاده از لیزر می‌توان سرعت اجسام متحرک را با دقت بسیار زیادی اندازه‌گیری نمود. سرعت نسبی یک جسم را در چنین

$$V = \frac{\Delta f \cdot C}{2f}$$

سرعت مورد محاسبه سرعت حرکت نور و f . فرکانس لیزر می‌باشد. فرکانس لیزری که در منطقه طیف مرئی کار می‌کند کاملاً مشخص است فرض می‌کنیم این فرکانس برابر 10^{14} هرتز باشد اگر سرعت جسم در حدود چند سانتیمتر در ثانیه باشد تغییرات فرکانس حاصله (Δf) برابر 10^{-1} کیلو هرتز خواهد بود. و بدین طریق حتی سرعت‌های خیلی کم و خیلی زیاد را می‌توان با دقت زیادی با داشتن Δf و C (سرعت سیر نور در خلاء) اندازه‌گیری نمود.

ارتباطات فضائی با استفاده از لیزر

با وجود برخی از مشکلات حتی امروزه بکار گرفتن لیزر در ارتباطات فضائی امید بخش بنظر می‌رسد. در اینجا به پاره‌ای از مشکلات احتمالی در بکار گرفتن لیزر جهت برقراری ارتباطات فضائی اشاره می‌کنیم و بد نیست به زحماتی که دانشمندی بنام ب- باور در این زمینه متحمل شده نیز اشاره‌ای کرده باشیم ولی قبل از عنوان نمودن مشکلات موجود برخی از رئوس مطالب مر بو طبه ساخته‌ان

نور را مطرح می‌کنیم برای مثال باید توجه داشت که هر منبع نوری قادر به تابش نور بطور مداوم نمی‌باشد بلکه از این منابع دسته‌های منفصل انرژی بنام کوانتم نوری یا فوتون ساطع می‌گردد. انرژی فوتونها بستگی به طول موج آنها داشته و هر چه طول موج کوتاه‌تر باشد این انرژی بیشتر می‌باشد. بنابر این می‌توان گفت فوتونهایی که طول موج آنها در منطقه مادون قرمز می‌باشد دارای انرژی بیشتری نسبت به فوتونهای منطقه مادون قرمز می‌باشند اشعه مادون بنفسیله کوتاه بودن طول موج و اشعه مادون قرمز بوسیله بلند بودن طول موج آنها مشخص می‌گردند. و باید توجه داشت میزان فوتونهایی که بوسیله یک سیستم در دقیقه ساطع می‌گردد اهمیت زیادی در کیفیت برقراری ارتباط دارند و در سیستم‌های برقرار کننده ارتباط فضائی بدون اغراق هر فوتونی را می‌بایستی بحساب آورد بنحویکه می‌توان گفت کمیت فوتونها میزان ارسال اطلاعات را معین می‌نماید.

برای افزایش ماکریموم فاصله ارتباط نوری لازم است دانسیته انرژی را در شعاع نور به حد اکثر میزان ممکنه رسانید. افزایش دانسیته انرژی در شعاع نور مستلزم افزایش ابعاد آتنن فرستنده می‌باشد. آنچه از تئوری فرانهوفر استنباط می‌گردد اینستکه پهنای زاویه‌ای یک شعاع نور متناسب با $\frac{\lambda}{D}$ می‌باشد که در این رابطه λ طول موج و D قطر آتنن فرستنده است. باین دلیل حتی آتنن‌های مایکرویو (ماکرویوها امواجی هستند که فرکانس آنها بین ۳۰۰ تا

۳۰۰۰۰ مگاهرتز تغییر می کند) برای این منظور دارای جهه بزرگی می باشند ، بنابر این وقتی ما با سیستم ارتباطی جهت بهره برداری از محدوده نوری در فضای سر و کار داریم در این سیستم ها فاکتور وزن و ابعاد دستگاه از اهمیت خاصی برخوردارند لذا محسن لیزر نسبت به سایر وسائل ارتباطی غیر قابل تردید می گردد . باید توجه داشت در هر سیستم ارتباطی مقداری امواج مزاحم وجود دارند این امواج مقداری ناشی از منابع داخل سیستم (نظیر لامپهای الکترونی مقاومت ها و منابع مولد قدرت) مقداری نیز ناشی از منابع خارجی نظیر خورشید یا کروموسفرها می باشند . کیفیت علائم واصله بستگی به میزان این امواج مزاحم دارد ، این کیفیت بواسیله نسبت امواج واصله به امواج هرز مشخص و بصورت نسبت $\frac{\text{Signal}}{\text{Noise}}$ یا بطور

خلاصه آنرا بصورت نسبت $\frac{S}{N}$ نشان می دهند .

یکی از مهمترین خصوصیات لیزر در مقایسه با سایر منابع اینستکه امواج مزاحم حاصله از آن بسیار کم می باشد . منابع خارجی ایجاد کننده امواج مزاحم هم چنانکه گفته شد عبارتند از کروموسفرها که منطقه ای است بین فوتوسفو و کرونا یا تاج خورشید یا ستاره ها ، هم چنانکه می دانیم تابش کننده ها بواسیله درجه حرارت شان نسبت به جسم سیاه مشخص می شوند و برای خورشید این درجه حرارت در حدود ۷۰۰۰ درجه کلوین تخمین زده می شود در اینجا باید مذکور شد تأثیر ماه در ایجاد امواج مزاحم بسیار کم بوده و

درجه حرارت ماه با توجه به سطحی از ماه که مورد تابش خورشید قرار می‌گیرد نسبت به جسم سیاه در حدود ۴۰۷ درجه کلوین برآورد و میزان متوسط اثرات حاصله از آن بر روی زمین برابر ۲۷۳ درجه کلوین می‌باشد بنابر این اگر سیستم دریافت کننده در مقابل سورخورشید مورد حفاظت قرار گیرد تابش حاصله از منابع دیگر غیر از خورشید ناچیز بوده و قابل چشم پوشی است لذا برقراری ارتباط در هنگام شب (که نور خورشید مستقیماً وجود ندارد) بهتر از هنگام روز صورت می‌گیرد . در تجاربی که بدست آمده مشاهده گردیده که طیف نور واصله از ماه در منطقه طول موجه‌ای بلندتر قرار داشته و حداقل طیف نشری ماه (حداقل چگالی انرژی برای واحد طول موج) معادل ده آنگسترم می‌باشد ، هنگامیکه طول موجی برای برقراری ارتباط بوسیله لیزر انتخاب می‌شود برخی از محدودیتها نیز می‌باشند در نظر گرفته شود ، مثلاً کمیت فوتونهای ساطع شده برای طول موجه‌ای بلند می‌باشند بیشتر باشد علاوه بر این باید سعی شود میزان تابش مزاحم نیز مشخص شود که این در محدوده نور مرئی کار آسانی نیست و همچنین محدودیتهای مربوط به جذب تابش بوسیله جو زمین است که می‌باشند از دریچه‌های سوری مخصوصی برای طول موجه‌ای که آتمسفر نسبت به آنها شفاف می‌باشد استفاده نمود بنابر این ملاحظه می‌شود چه محدودیتها و مشکلاتی برای برقراری ارتباط سوری در سر راه قرار دارند و می‌باشند کلیه آنها بر طرف گردد تا بتوان یک ارتباط نوری مناسبی با طول موج حدود ده آنگسترم برقرار کرد . البته لیزرهای ممتد

بسیار پرقدرتی که در این محدوده نوری کار می‌کنند تا کنون تهیه شده و فقط مشکل موجود در برقراری ارتباط نوری ایجاد سکوهای فوق العاده ثابت در جو خارجی برای دریافت نور لیزر می‌باشد.

مطلوب قابل ذکر دیگر اینکه پهنانی اشعه ارسالی بوسیله فرستنده می‌باشند نسبتاً کوچک انتخاب و حداقل ثبات در سکوی نصب منبع تابش تأمین شود بطوریکه تغییرات زاویه‌ای شعاع لیزر در نزدیکی خط اتصال فرستنده با ایستگاه دریافت کننده زمینی قابل مقایسه و متناسب با پهنانی زاویه‌ای شعاع لیزر باشد، دریافت کننده نیز می‌باشند قادر باشد حداقل نیرو را هنگامیکه بطور کامل سطح مقطع شعاع تابشی را می‌پوشاند دریافت کند و آنن دریافت کننده نیز می‌باید تا حد ممکن کوچک باشد تا بدینوسیله میزان دریافت امواج زمینه‌ای کم شود. در حال حاضر پهنانی شعاع لیزر در حدود ۴ - ۱۰ رادیان (معادل ۲۰۰ ژانیه) می‌باشد و ثبات سیستم لیزرهاییکه در حال حاضر کار می‌کنند نیز طوریست که میزان حدود چهاردهم درجه و حتی ممکن است تا ۵ درجه نیز برسد و این میزان بستگی به نیروهایی که بر روی سکوب تأثیر می‌گذارند از قبیل فشار تابشی خورشید، میدان مغناطیسی مربوط به عالم هستی نیروهای داخلی و غیره دارد. باین دلیل منطقه پوششی لیزر در فضا در حال حاضر با توجه به وضعیت موجود از نظر تکنیک مهندسی حداقل ۱۰۰۰ بسیار بزرگتر از مساحت مقطعی شعاع آنها در روی زمین است و این بخاطر عدم ثبات لیزر می‌باشد.

یکی دیگر از روشهای نسبتاً مناسب و گرچه ضعیف انتخاب

چندین لیزر که بطور همزمان کار می‌کنند می‌باشد بموجب این واقعیت که سرعت چرخش محوری ماه کمتر از زمین است و اینکه در اطراف کره ماه آتمسفری وجود ندارد بنظر می‌رسد ارسال اطلاعات از روی کره ماه بطرف مریخ بسیار مقرن بصره‌تر از ارسال اطلاعات از طریق زمین باشد گرچه در هر ۷۰۰ میلی‌بایستی ریقتن شدن تابش توپوت اتمسفر کره مریخ را بحساب آورد. لذا بکار گرفتن سکوی ثابتی نظیر ماه برقراری ارتباط یکطرفه ماه به زمین را بسیار ساده می‌سازد.

بنابر این احتمالاً اولین تجربه برقراری ارتباط سیاره‌ای بین زمین و ماه به جریان خواهد افتاد و این شبیه اینستکه ایستگاه تحقیقاتی در کره ماه نصب گردد، و احتمال زیادی وجود دارد که یک فرستنده لیزر قوی مستقیماً رو به زمین در این ایستگاه نصب شود که در اینصورت شاعع درخشنان لیزر بوسیله چشم غیر مسلح در روی زمین حتی در سمت آفتابگیر قابل روئیت می‌گردد و هنگامیکه سمت تاریک ماه در مقابل زمین قرار داشته باشد شاعع لیزر در مقابل زمینه آن مانند یک ستاره قرمز تیره (رنگ که آن طبیعتاً بستگی به فرکانس لیزر انتخاب شده خواهد داشت) بوسیله یک هلال طبیعی در ماه درخشن خواهد داشت. و بدین وسیله پیامهای بسیار ساده مورد علاقه افراد روی زمین بوسیله فضانوردان به تمام جمعیت روی زمین را می‌توان به تناوب با استفاده از سیستم قطع کننده متناوب لیزر (بوسیله یک جدا کننده) ارسال نمود و برای ارسال پیامهای پیچیده‌تر با حجم زیادتری از اطلاعات، اشعه لیزر می‌بایستی بوسیله یک روش کاملتر

و پیچیده‌تری مدوله و ارسال گردد. حال ببایئیم پهنانی مناسب شعاع لیزر با دانسیته انرژی لازم اشعه که بطريق مطمئنی بتواند یک شبیشی مورد نظر را جهت ارسال اطلاعات جستجو کند مطالعه کیم. همانطوریکه می‌دانیم شعاع نور بعلت همگن نبودن جو پراکنده می‌شود. علاوه بر این پدیده انکسار نور به آن کمک نموده و زاویه پراکنده‌گی را به حدود ۵ ثانیه می‌رساند تمام این عوامل اثر محسوسی در بدتر شدن مشخصات اشعه لیزر خواهد داشت.

حال باید دید رابطه بین پهنا و قدرت اشعه لیزر چیست؟

این رابطه بوسیله یک فرمول پیچیده بیان می‌شود که در اینجا به آن نمی‌پردازیم و فقط اشاره می‌کنیم که قدرت آن در نقطه دریافت بوسیله نسبت سطح آنتن دریافت کننده به سطحی که یک شعاع لیزر صفحه عمود بر آن را در نقطه عبور می‌پوشاند محاسبه می‌گردد (بدیهی است که این سطح مناسب با محدود شعاع آن که دارای محیط دایره‌ای فرض شده می‌باشد) البته این یک محاسبه غیر دقیق و تقریبی می‌باشد و فاکتورهای بسیار زیادی از قبیل نسبت $\frac{S}{N}$ ، عرض بآزاد، چگالی طیغی ام-راج مزاحم شرایط جوی و ماده‌ای که اشعه در آن منتشر می‌شود و چندین فاکتور دیگر در فرمول وارد می‌شوند. برای تأمین امکانات عملی برقراری ارتباط بین زمین و ماه لازم است که نسبت $\frac{S}{N}$ را بدانیم، محاسبات نشان می‌دهد برای

$$1 - \frac{\text{Signal}}{\text{Noise}}$$

لیزری که در طول موج 10 میکرون و با شعاعی به پهنهای 20 سانتیمتر^2 که مساحت سطح آنتن گیرنده متعلق به بازتابنده آن برابر 20 سانتیمتر^2 مربع و قدرت خروجی آن 10 وات و تعداد فوتونهای دریافت شده بوسیله آنتن دریافت کننده آن برابر $10^{11} \times 2 / 25$ (فوتون در ثانیه) باشد، تعداد فوتونهای امواج مزاحم به موجب محاسبات $10^1 \times 8$ (فوتون در ثانیه) بوده و از آنجا

$$\frac{S}{N} = \frac{2 / 5 \times 10^{11}}{8 \times 10^1} \neq 3$$

را در نظر نگرفته‌ایم میزان واقعی این نسبت احتمالاً کمتر خواهد شد.

باید توجه داشت قدرت لیزرهای موجود فعلی مخصوصاً لیزر یاقوتی به موجب محاسبات انجام شده بیش از 10 وات می‌باشد

$$\frac{S}{N} \text{ ممکن است عملاً میزان مطلوبتری پیدا کند}$$

همچنین باید در نظر داشت که افزایش قدرت لیزر پهنهای طیف خروجی لیزرا افزایش خواهد داد و انتخاب یک آشکارساز مناسب نیز برای سیستم ارتباطی بسیار مهم خواهد بود و استفاده از سلولهای تکثیر کننده الکترونی و دریافت کننده‌های لیزر و شمار شگر های ذره‌ای ممکن است برای این هدف بکار برده شود زیرا تکثیر کننده‌های الکترونی دارای باند تابش عبوری پهنه‌ی می‌باشد لذا در آشکارسازهای که در ارتباط فضائی بکار گرفته می‌شوند می‌بایستی از فیلترهای اپتیکی با باند نازک استفاده شود که فقط یک باند فرکانس باریک و معین را از خود عبور می‌دهد و این باند فرکانس می‌بایستی جهت برقراری

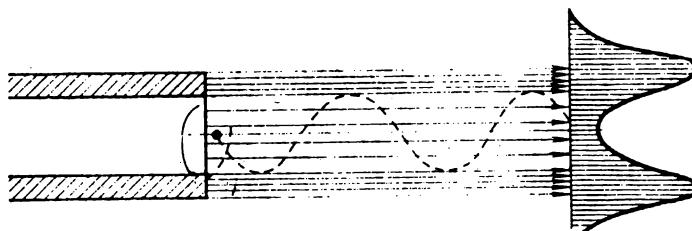
ارتباط فضائی مناسب باشد (بخصوص در مواردیکه ارتباط از زمین با کره ماه برقرار می‌شود).

دورنمای لیزر (نگرش به آینده لیزر)

خطوط لوله لیزری

یکی از کاربردهای جالبی که لیزر می‌تواند در آینده داشته باشد هدایت مواد گازی مانند اکسیژن یا هیدروژن در حد فاصل بین سیاره‌ها در امتداد یک خط لوله با استفاده از لیزر می‌باشد یکی از دانشمندان روسی بنام گئ پروکوفسکی در کتابی با نام نور پر توان که در سال ۱۹۶۴ بچاپ رسیده در این زمینه می‌نویسد اگر ما یک لیزر را که شکل آن بصورت یک استوانه تو خالی است در نظر بگیریم پراکنده‌گی فلوی نورانی خارج شده از آن بنحوی است که چگالی انرژی در قسمت میانی آن کمتر از قسمت محیطی و جانبی آن می‌باشد (شکل ۵۲-۴) حال اگر مقداری گاز در قسمت میانی فلوی نورانی آن وارد کنیم این گاز در امتداد مسیر انتشار نور و در داخل آن حرکت می‌کند و ملکولها و اتمهای گاز قادر نخواهند بود که از لایه جانبی بعلت غلظت زیاد انرژی از این قسمت لایه فرار کنند . بنابر این یک

خط لوله گاز بواسیله اشعه ایجاد شده و گاز را در جهت انتشار نور بحرکت درمی آورد و بر عکس لوله های معمولی (که از حرکت گاز جلو گیری می کنند) این خط لوله هیچگونه مانعی جهت حرکت ذرات گازی نخواهد داشت و هیچگونه اصطکاکی در دیواره های آن وجود نداشته و بر عکس دیواره های خط لوله نوری به حرکت ذرات کمک می نماید . البته بعلت پرداخت ناقص سطوح اپتیکی و پدیده انکسار نوری خط لوله فقط می تواند تا یک فاصله معین مؤثر باشد .



شکل ۴-۵۲ طرح ساده خط لوله لیزری

حال فرض کنیم احتیاج باشد یک ماده گازی را در امتداد یک خط لوله نوری از زمین به سوی کره ماه ارسال کنیم طبق محاسبات انجام شده قطر دستگاه اپتیکی مربوطه می باشد ۸۹ متر باشد که در حال حاضر یک چنین ساطع کننده ای را به سختی می توان تهیه نمود ولی با پیشرفت تکنولوژی نوری امکان دارد این رقم به حدود ۲۵ متر برسد . برای جدا کردن موادی که در امتداد خط لوله حرکت می کنند یک دریافت کننده معادل با قطر در حدود ۱۹۸ متر با تکنیک امروزی

و یا ۵۰ متر با تکنیک پیشرفته تر مورد نیاز است ، در ضمن محور فلوی نورانی طبیعتاً می‌باشد بطرف دریافت کننده هدایت شود برای تأثیر بیشتر در انتقال مواد در امتداد خط لوله بین زمین و ماه می‌باشد محور فلوی نورانی حرکت ماه را تعقیب نماید و این عمل را می‌توان با استفاده از یک مکانیزم گردان که با دقت بسیار زیادی در اثر فیدبک حاصله کار می‌کند امکان پذیر ساخت فیدبک مذکور اطلاعاتی در مورد وضع نقطه نورانی در روی ماه نسبت به نقطه دریافت کننده را به ما می‌دهد . هنگام تکمیل یک چنین پروژه‌هایی جهت انتقال مواد در امتداد خط لوله باید به این مسئله توجه شود که هیدروژن، اکسیژن و گازهای دیگر میزان نسبتاً کمی از نور را تحت فشار و درجه حرارت نرمال جذب و پراکنده می‌کند . لذا این گازها بطور ضعیف در امتداد خط فلوی نورانی قرار می‌گیرند برای بهبود این وضعیت و افزایش سرعت انتقال آنها می‌توان ابتدا با حرارت آنها را یونیزه نمود و آنها را بحالت پلاسمای در آورد . اگر درجه حرارت را به ۵ تا ۶ هزار درجه بالا برمی‌گذارد بطور قابل توجهی درخششده شده و نور را جذب می‌کند . در یک چنین حالتی می‌توان آنها را بوسیله فشار فلوی نورانی بحرکت در آورد گـ - پرسو کوفسکی در این کتاب اشاره می‌کند به قدرت مورد نیاز دستگاه جهت تأمین اکسیژن برای انسان و می‌گوید این قدرت حداقل باید برابر دهها هزار کیلو وات باشد و این بدان معنی است که بزرگی دستگاه تابش کننده که با دقت بسیار زیادی کنترل می‌شود دهها متر می‌باشد .

لیزر در ارتباط با تمدن کرات

سماوی

آیا ما در دنیا تنها هستیم؟ یا اینکه موجودات با شعور دیگری نظری انسانها در جایی دیگر در عالم وجود دارند؟ اگر چنین موجوداتی وجود دارند چگونه می‌توانیم با آنها تماس بگیریم و به درک متقابل یکدیگر برسیم؟

در گذشته دور انسان‌ها خود را تنها موجودات فعال مرکز دنیا فرض می‌کردند ولی بعدها پی به وجود دنیای دیگری دور از زمین و منظومه شمسی برده شده طبیعتاً این فکر پیش آمد که شاید احتمالاً در جای دیگر غیر از زمین ما نوعی زندگی وجود داشته باشد، اولین فکر در مورد نزدیکترین سیاره به زمین کره ماه پیش آمد و این فکر بعدها بعلت اکتشافات حاصله در مورد فقدان آتمسفر اطراف کره ماه رها شد و بیشتر افکار متوجه کره میریخ و نووس گردید. و این مسئله که در این سیارات ممکن است موجودات زنده‌ای وجود داشته باشند موجب نوشتمن داستانهای تخیلی در این زمینه گردیده امروزه با اکتشافات جدیدی که صورت گرفته امید کمتری وجود دارد که در هر دو سیاره یاد شده موجودات با شعوری وجود داشته باشند. دانشمندان از تغییراتی که در رنگ سطح کره میریخ حاصل می‌شود نتیجه گرفته‌اند نوعی زندگی نباتی در این کره وجود دارد البته نتیجه نهائی وقتی معلوم می‌گردد که انسان اولین قدمهای خود

را به سیاره مذکور بگذارد.

دنیا همچ حد و مرزی ندارد و منظومه شمسی در مقایسه با کائنات بمانند نقطه کوچکی در آن است در حقیقت در کهکشان ما یک خانواده متشکل از میلیونها ستاره وجود دارد، برخی از این ستاره‌ها نیز مانند خورشید دارای چند سیاره می‌باشند که ما بوسیله قویترین تلسکوپها قادر بدیدن سیارات آنها نمی‌باشیم و فقط تحقیقات انجام شده در زمینه رفتار این ستاره‌ها مؤید وجود سیاره در اطراف آنها می‌باشد.

حال اگر فرض کنیم در بین هزاران سیستم سیاره‌ای یک سیاره شرایط تکامل و زندگی بیولوژیکی را داشته باشد در این صورت چندین میلیون سیاره در کهکشان ما وجود دارد که باید شرایط زندگی در آنها وجود داشته باشد. منجمین می‌گویند که کهکشان ما یکی از ناچیز ترین کهکشانها در بین میلیونها کهکشان دیگر است. از آنچه ما در باره جهان می‌دانیم می‌توان نتیجه گرفت که محیط موجودات زنده می‌بایستی دارای وجه اشتراک با محیط بقیه موجودات باشد، مثلاً محیط موجودات زنده می‌بایستی متشکل از توده‌ای از مواد شیمیائی نظیر اکسیژن، کربن فسفر و سایر عناصر باشد.

مطلوب دیگری که می‌بایستی مورد قبول قرار گیرد اینستکه در صورت وجود زندگی در سایر سیارات این زندگی ممکن است کاملاً و بصورت غیرقابل انتظاری مغایر با آنچه در زمین ما وجود دارد باشد، موضوع دیگری که نمی‌توان آنرا نادیده گرفت اینستکه درجه تمدن در سیاراتی که احتمالاً موجودات ذیشوری نظیر انسان در آنها

وجود دارد کاملاً با تمدن ما متفاوت خواهد بود زیرا طول زمان وجود انسان در روی کره زمین را اگر با مقیاس جهانی در نظر بگیریم مازنند یک لحظه خواهد بود بنابر این در برخی از سیارات تمدن موجودات ذی‌شعوری ممکن است خیلی پیشرفته‌تر از آنچه که در روی زمین است باشد و احتمالاً از طریق برخی از این تمدنها پیشرفته موجود در عالم علامتی بسوی فضا برای کسب اطلاع از وجود زندگی در سایر سیارات و برقراری ارتباط با آنها ارسال می‌گردد و بعيد نیست تمدنهاشی نیز در دنیا وجود داشته باشد که برقراری ارتباط جهت تبادل فرهنگی از مدت‌ها پیش بین آنها متداول گردیده باشد . در حال حاضر این یک اشتباه است که تصور کنیم تماس با سیارات تمدن یک کار آسانی است بر عکس این کار کاملاً مشکل است زیرا تئوری نسبیت اینشتین محدودیتهایی در سرعتی که جهت برقراری ارتباط لازم است بوجود می‌آورد و حتی سرعت فوق العاده ۳۰۰۰۰۰ کیلو متر در ثانیه که نور می‌پیماید از کمیت زیادی در مقابل مقیاس جهانی برخوردار نمی‌باشد .

کوشش‌های فراوانی تاکنون برای دریافت علامت از زندگی متضمن دنیا بعمل آمده و بدین منظور تحقیقاتی با فرکانس ۱۴۲۰ مگاهرتز که دارای طول موجی برابر ۲۱ سانتی‌متر است بعمل آمده و انتخاب این طول موج بدلاًیل زیر صورت گرفته است که دو تن از دانشمندان با سامی گـ - گـگـنـی (۱) و فـ - مـورـیـسـین (۲) بطور تئوری پیش بینی کرده‌اند اتم خنثی هیدروژن که در فضای بین

سیارات یافت می‌شود طول موجی برابر ۲۱ سانتیمتر از خود ساطع می‌کنند و این طول موج مربوطه به عبور اتم‌هیدروژن از یک حالت در شرایطی است که ممان مغناطیسی هیدروژن و الکترون با یکدیگر موازی هستند در حالیکه این دو ممان در حالات نرمال با یکدیگر موازی نمی‌باشند این فرکانس به موقع بوده و دانشمندان اظهار نموده‌اند که این فرکانس با طول موج ۲۱ سانتیمتر بطور مصنوعی ایجاد گردیده لذا می‌بایستی یک تکنولوژی پیشرفته در جهان وجود داشته باشد که این طول موج را (که در طیف تابش فضائی وجود دارد) کشف نموده باشد لذا بدین دلیل در ماه می و جولای سال ۱۹۲۰ یک برنامه وسیع جهت تحقیق علائم واصله از تمدن ماوراء الطیعه بنام پروژه ازما برای مدت ۱۵۰ ساعت در مرکز تحقیقات نجومی امریکا واقع در رصدخانه گرین بنک در ایالت ویرجینیا صورت گرفته که این تحقیق زیر نظر منجمی بنام ف - در یک^۱ صورت پذیرفت در این تحقیق یک دستگاه مخصوص پیشرفته بطرف نزدیکترین ستاره‌ها بنام ستی^۲ و اپسیلن اریدیان که معتقد بودند دارای سیاره می‌باشد و فاصله آنها از خورشید نیز زیاد نمی‌باشد متوجه گردید (فاصله آنها در حدود یازده سال نوری می‌باشد) گرچه مطالعات انجام شده بواسیله یک رادیو تلسکوپ ۲۷ متری با دقت بسیار زیادی انجام شد لیکن هیچگونه علائمی از طرف مقابله واصل نگردید و مسلماً در این تحقیق موفقیت زیادی عاید دانشمندان نگردید .

امروزه تصمیم بر این است که تحقیقات در این زمینه ادامه یابد، تجربه مشابهی در انستیتوی تحقیقات نجومی استرنبرگ (۱) به عمل آمد و در حال حاضر نیز تحقیقات در باره علائم واصله از دنیای خارج در انستیتو تحقیقاتی رادیو فیزیک دانشگاه ایالتی گورگی ادامه دارد ولی تاکنون هیچگونه نتیجه مثبتی در این زمینه عاید دانشمندان نگردیده البته می‌باشدی در این راه صبر زیادی داشت زیرا ممکن است این تحقیقات تا قرنها ادامه پیدا کند، در اینجا این سوال پیش می‌آید که آیا ما راه درستی را در پیش گرفته‌ایم؟ ممکن است ما در اهمیت طول موج ۲۱ سانتیمتر در زمینه بکار گیری آن در ارتباطات فضائی مبالغه کرده باشیم و با تصوری و پیشگوئی گمراه شویم.

شاید این طول موج یک پل فضائی با تمدن ناشناخته غیرخاکی می‌باشد؟ دانشمندان شوروی این قضیه را دنبال نموده و به نتیجه عکس آن رسیده‌اند و دریافته‌اند که موجی از اتم خنثی هیدرژن واصل می‌گردد کمتر بنظر می‌رسد حامل علائمی از وجود تمدن در جای دیگر ماوراء دنیای خاکی ما باشد زیرا امواج یاد شده از جائی واصل می‌گردند که امواج فضائی مزاحم واصل می‌گردد البته باید توجه داشت که برقراری ارتباط رادیوئی بوسیله امواج یاد شده تنها راه برقراری ارتباط با موجودات احتمالی سایر سیارات و کرات دیگر نمی‌باشد و بسیاری از دانشمندان بر این اعتقادند که بکار گیری لیزر در برقراری ارتباط با موجودات متمدن کرات دیگر از اطمینان

بیشتری برخوردار خواهد بود . لذا چنین کار برداشی از لیزر ممکن است افق جدیدی در برقراری ارتباط با موجودات کرات دیگر باز کند .

دو تن از دانشمندان آمریکائی بنامهای تاونز^۱ و شوارز^۲ اولین کسانی بودند که بسکار گیری لیزر را در برقراری ارتباط فضائی پیشنهاد و اولین مقاله را در این زمینه در سال ۱۹۶۱ بچاپ رسانیدند ، در این مقاله آنها به بحث درباره امکان آشکار سازی علائم واصله از سیاره‌ای متعلق به ستاره‌ای که در فاصله‌ای بیش از دهها سال نوری از ما فرار دارد پرداخته‌اند . فرض براینستکه پیامها از سیاره‌ای که از نظر پیشرفت و تمدن هم طراز با ما هستند واصل می‌گردد یک چنین علائمی قابل آشکار سازی بوسیله تلسکوپ‌ها و دستگاههای پیشرفته موجود می‌باشند . در این مقاله همچنین اشاره‌ای به لزوم وجود دو سیستم لیزر یکی سیستم (a) و دیگری سیستم (b) بعنوان دستگاههای اصلی گردیده مشخصات سیستم (a) به شرح زیر می‌باشد .

قدرت آن در حدود ده کیلو وات دارای طول موجی برابر ۵۰۰ آنگسترم بطور ممتد کار می‌کند، پهناهی باند فرکانس آن در حدود ۱MHZ و قطر منعکس کننده آن برابر ۵۰۰ سانتیمتر ، پهناهی شعاع آن (نسبت طول موج به قطر منعکس کننده آن) برابر 7×10^{-7} رادیان می‌باشد .

سیستم (b) حاوی ۲۵ دستگاه لیزر با مشخصات سیستم (a)

می باشد و قطر دریچه مؤثر آن برابر 10×5 رادیان می باشد و تمام این سیستم ها در یک مسیر قرار دارند.

سیستم (a) می باشند در بالای جو زمین مثلاً در روی کره ماه و یا یک قمر مصنوعی قرار داشته باشد در غیر اینصورت اثر اشعه لیزر به علت تغییرات جوی کاهش می یابد . سیستم (b) نیز می باشند در سطح سیاره ای نظیر کره زمین بطور مؤثر نظیر لیزر (a) کار کند و چنانچه شعاعی بطرف ماه ارسال گردد می باشند از شدت کافی برخوردار تا قابل آشکار سازی باشد .

توضیح اینکه اشعه لیزری که بواسیله سیستم (a) ساطع می شود ممکن است بواسیله چشم غیر مسلح از فاصله ای برابر ۱ / ۰ سال نوری قابل روئیت باشد که این فاصله را می توان به ۴ / ۰ سال نوری و در صورت استفاده از یک تلسكوپ ۵۰۰ سانتیمتری به ۱۰ سال نوری افزایش داد همچنین می توان با روش عکاسی معمولی از آن عکسبرداری نمود (البته در این موارد می باشند دریچه دوربین برای مدت نسبتاً طولانی در حدود یک دقیقه باز باشد) برخی از دانشمندان معتقدند سیستم (b) برای برقراری ارتباط بین سیاره ها بسیار مناسب می باشد و این مشکل برای آنها وجود دارد که بتوان نور و اصله از ستاره ها را از نور لیزر تفکیک نمود .

البته همانطور که می دانیم یکی از مشخصات متمایز کننده تابش لیزر خاصیت تکرزنگی آن می باشد بهمین دلیل اگر تابش و اصله از یک ستاره نظیر خورشید را در نظر بگیریم در اینصورت بموجب محاسبات در مجاورت طول موج ۵۰۰ آنگسترم مشاهده می گردد

چگالی طیف تابشی برای باند ۲MHz حدوداً ۲۵ مرتبه افزایش نشان می‌دهد که می‌تواند مربوط به تابش لیزر باشد و اگر لیزر در منطقه ماوراء ب بنفس یا مادون قرمز کار کند شدت تابش لیزر باز هم بیشتر از تابش ستاره می‌باشد . و اگر چنانچه دستگاه لیزر در بالای جو قرار گیرد در اینصورت امکان آشکار سازی تابش لیزر در مقابل امواج مزاحمی که از تابش ستاره ها و اصل می‌گردد صدها و بلکه هزاران بار افزایش می‌یابد در این حالت مطالعه می‌بایستی با استفاده از فیلترهای مخصوص با باند نازک انجام گیرد .

یکی دیگر از روش‌های آشکار سازی اشعه لیزر در مقابل اشعه مزاحم و زمینه‌ای ستارگان اینستکه پیامهای واصله را مدوله کردو این عمل در زمان انتقال پیامها صورت می‌گیرد .

با توجه به موارد یاد شده بنظر می‌رسد که استفاده از لیزر جهت برقراری ارتباط بین سیاره‌ها مناسب خواهد بود البته باید توجه داشت آنچه از کار برد لیزر در شاخه‌های مختلف علوم و تکنولوژی نظیر نجوم ، بیولوژی ، رادیو فیزیک و مهندسی رادیو بدست آمده آنقدر در مراحل اولیه خود می‌باشد که مشکل برقراری ارتباط فقط در مرحله بحث علمی دانشمندان می‌باشد .

در سال ۱۹۷۰ دانشمندان آکادمی علوم شوروی و آکادمی علوم آمریکا به توافق رسیدند که یک کنفرانس مشترک در زمینه حل مشکلات موجود در این زمینه داشته باشند، این کنفرانس در ماه سپتامبر ۱۹۷۱ در بوراکان تشکیل شد و شرکت کنندگان نه تنها از شوروی و آمریکا بلکه از کشورهای دیگر نیز بودند و این دو می-

ملاقات دانشمندان در شوروی بود که صرف بحث در زمینه مشکلات مهم علمی گردید (اولین ملاقات نیز در سال ۱۹۶۴ در همین شهر برگزار شد و بعنهای در زمینه امکان برقراری ارتباط با سایر سیارات که احتمالاً امکان وجود زندگی در آنها هست به عمل آمد) در این کنفرانس منجمین، فیزیکدانان، بیولوژیستها، مورخین، جامعه شناسان، فلاسفه و متخصصین تئوری اطلاعات و ارتباطات لیزر شرکت نمودند در بین شرکت کنندگان دانشمندانی نظری آمبارتسومیان (۱) ، و گینزبورگ (۲) اعضاء آکادمی علوم شوروی نظری و سیفوروف (۳) ، و تربیوتسکی ، ای - شکیلوفسکی و دانشمندان فیزیک نظری نوبل (۴) و لوریت (۵) ، پروفسور چارلز تاونز و دکتر فریمن دایسون (۶) و مارتین مینسکی و بیولوژیست معروف کارل ساگاز (۷) از آمریکا و دانشمند بریتانیائی پروفسور فرانسیس (۸) کریک شرکت داشتند هدف این کنفرانس همانطوریکه گفته شد برآورد مشکلات واقعی موجود و تشریح دقیق راهها و فعالیتهای بعدی در این زمینه بود ، در شروع کنفرانس آکادمیسین معروف آمبارتسومیان ابراز داشت مطمئناً بحث در باره وجود تمدن در دنیای خارج از کره زمین بسیار زود است زیرا تاکنون هیچگونه دلیل و سندی مبنی بر وجود تمدن در خارج از کره زمین وجود نداشته ولی بنیانگذاران این کنفرانس معتقدند انجام تحقیقات وسیع در این زمینه نظری بررسی جامع در

1- Ambartsumian 2-Ginzburg 3- V - Siforov

4 - Nobel , Laureate 5- Freeman · Dyson

6- Carl - Sagas 7- Francis , Crick

زمینه تحقیقات نظری بر اساس کلیه اطلاعات جمع آوری شده از نجوم مدرن و بیولوژی و جامعه شناسی و سیاره شناسی ضروری بمنظور می رسد . شرکت کنندگان در این کنفرانس مسائل جالبی را مورد بحث قرار دادند از جمله نظرات پیشرفتی در زمینه پیدایش سیارات و نحوه کشف آنها در اطراف ستاره های نزدیک ، امکان وجود زندگی در سیارات سرد و در سیارات بدون ستاره و مواد موجود بین ستاره ها (این بحث در مورد مواد پیچیده کشف شده در بین ستاره ها بواسیله روش های نجومی صورت گرفت) یکی دیگر از مطالب مورد بحث در زمینه امکان انتقال زندگی از یک سیاره به سیاره دیگر بود ، یکی از شرکت کنندگان بنام گ^۱ مارکز از بلغارستان مطالبی در مورد پرواز بین سیارات ایراد نمود و بیانیه ای در زمینه حرکت فضا پیماها در بین ستارگان تحت تأثیر فشار نور اشعه لیزر که از سیاره ما در ساطع می شود اظهار و به مشکلات موجود اشاره نمود . در بحث و بررسی مشکلات تحقیق برای جستجوی علائم اطلاعاتی یکی از شرکت کنندگان بنام ف - در یک ^۲ تأکید نمود امواج الکترو مغناطیسی سریعترین و اقتصادی ترین و مؤثر ترین وسیله برای برقراری ارتباط با تمدن خارج از کره زمین می باشد لذا با توجه به مشکلات زیادی که وجود دارد یک تحقیق سیستماتیک با استفاده از کامپیوترهای مدرن برای تجزیه تابش های واصله به جو زمین می تواند قدم مثبتی در این زمینه باشد ، شرکت کننده دیگری بنام ن - س - کارداشف (۳) به جستجوی روشنی اشاره نمود که با اتخاذ آن

بتوان در ارسال علائم حداقل انرژی را صرف نمود ، او بیان داشت هنگامیکه می خواهیم در مورد یک فرستنده علائم (منظور سیاره ای که علائمی ارسال می کند) که جایش در فضای مشخص نیست تحقیق کنیم استفاده از محدوده فرکانس بین 10^9 تا 10^{11} هرتز ممکن است بسیار مناسب باشد البته در برخی از موارد ممکن است استفاده از طول موج مادون قرمز مناسبتر باشد . چارلز تاونز^۱ دانشمند امریکائی نیز بحثهای در زمینه کاربرد لیزر مطرح نمود و اظهار داشت به عقیده او لیزر آینده امید بخشی داشته و می تواند در جستجوی علائم واصله از ستارگانی که در فاصله چند و یا دهها سال نوری از زمین قرار دارند مورد استفاده قرار گیرد . یکی دیگر از شرکت کنندگان بنام ف - سوریسون به^۲ این مسئله اشاره کرد که کیفیت اطلاعات واصله برای ما از اهمیت بیشتری برخوردار است نه کمیت آن و اولین علامت واصله می تواند مهمترین قدم در این راه باشد . شرکت کننده آمریکائی دیگری بنام ب - الیور^۳ اشاره ای به اهمیت مشکلات موجود در برقراری تماس با سایر سیارات متمدن نمود و اطلاعاتی در مورد جستجوی علائم و تحقیقاتی که در آمریکا در پروژه ای بنام سایلکوپس^۴ انجام شده در اختیار شرکت کنندگان کنفرانس قرار داد و اظهار داشت پروژه مذکور بر اساس بکار گیری سیستم آنتن های چند عنصری که حاوی ده هزار آینه با قطار ۲۰ تا ۳۰ متر بوده و حاوی یک سیستم پیچیده ارتباطاتی می باشد

1 - GH . Townes

2 - PH . Morrison

3 - B - Oliver

4- Cyclops , project

و تأکید نمود تهیه یک چنین سیستمی ساده‌تر از تهیه یک آتن معادل با سطح بسیار بزرگ می‌باشد علاوه بر این پتانسیل یک چنین سیستمی را می‌توان به تدریج و دلخواه تغییر داد که این فاکتور بسیار مهمی است، برای جستجوی علائم بواسیله یک چنین سیستمی نیاز به استفاده از دریافت کننده‌ای که دارای یک هزار کanal است می‌باشد البته این هنوز نصف کار است و مشکل بعدی برای برقراری ارتباط با دنیای متمن خارج و گفتگو با آنها اینستکه باید بطور ماهرانه یک زبان خاص بوجود آید شاید ترسیم نقشه یکی از روش‌های خوب در ارسال اطلاعات باشد بنابر این ممکن است اطلاعات بصورت گرافیک باشد برای مثال این امکان نیز وجود دارد که ارقام اول را که نخستین مرحله در رقم نویسی است بتوان مخابره نمود. بنابر این ملاحظه می‌شود که برقراری ارتباط با دنیای متمن خارج از جو زمین با چه مشکلاتی روبرو است شاید در آینده این مشکلات حل و امکان برقراری ارتباط با دنیای خارج بوجود آید.

کشتی‌های فضای پیمای آینده چگونه خواهند بود؟

دورانی که ما در آن زندگی می‌کنیم عصر فضا نامیده شده است و همانطور که می‌دانیم امروزه انسان بر فضای نزدیک کره زمین فائق شده و افکارش متوجه فضای دورتری گردیده، سفرهای فضائی در داخل و خارج منظومه شمسی می‌تواند از طریق فضا پیماهائی که با سرعتی نزدیکی سرعت نور حرکت می‌کنند امکان پذیر گردد. در

حال حاضر طرحهای برای فضا پیماهای آینده وجود دارد و استفاده از فوتونها ، پلاسمما ، کوانتم ها و موتورهای یونی و غیره برای این فضا پیماها در نظر گرفته شده هم چنین استفاده از موتورهای راکت با بکارگیری تابش ذرات آلفا نیز پیشنهاد گردیده است . یکی از جالبترین طرحها در سفرهای منظمه‌ای استفاده از موتورهای راکت که براساس فشار خورشیدی حرکت می‌کنند می‌باشد (اینکونه راکت‌ها قبل نیز بوسیله دانشمندی بنام ماکسوئل پیش‌بینی گردیده بود) در این طرح استفاده از تشعشعات خورشیدی نقش بسیار عمدۀ ای را در حرکت فضا پیما خواهد داشت آنچه ظاهرآ استنباط می‌شود اینستکه راهی طولانی در پیش‌خواهد بود تا چنین سفرهای تحقق یابد و آخرین نظریه ارائه شده در این زمینه در حال حاضرین ممکن و محال قرار دارد . باید توجه داشت همچنانکه حقایق کشف شده امروزی ماوراء تصورات گذشتگان بوده روزی نیز ممکن است فرا رسد که آنچه در بالا گفته شد جامه عمل به خود بپوشاند و به حقیقت بپیوندد . در اینجا متذکر می‌گردیم ظهور لیزر با قدرت اشعه مستقیمی که دارد ایده اختراع فضا پیماهائی را که با موتور لیزری حرکت می‌کنند بوجود آورده است و علت آن اینستکه اگر طرح بکارگیری فشار خورشیدی برای شتاب دادن به یک جسم آزاد در فضا درست باشد بنابر این لیزر که یک منبع بسیار قوی تابش است می‌تواند در بکار گیری برای شتاب دادن لازم به یک کشتی فضا پیما مورد استفاده قرار گیرد که در این صورت اگر چنانچه موتورهای لیزری روزی بکار گرفته شود و برای مدت طولانی در حرکت باشد نتیجتاً سرعت

آن به سرعت نور خواهد رسید.

نگاهی به آینده

بحث ما در باره کاربردهای لیزر در رشته‌های مختلف علوم و مهندسی در اینجا به پایان می‌رسد اما طبیعتاً آنچنانکه بایست نتوانستیم در این کتاب تصویری کامل از کاربردهای لیزر را نشان دهیم بدون شک خیلی از کاربردهای جالب و شاید غیر قابل انتظار و با ارزشی از لیزر که در آینده وجود خواهد داشت و با توجه به سرعت پیشرفت تکنولوژی در آینده تقریباً غیر ممکن است که از امکانات کاربرد وسیع لیزر در آینده سخن بگوئیم در اینجا فقط برخی از آنها را که امروزه جالب بنظر می‌آید برشمودیم.

دانشمندان و محققین زحمات فراوان در زمینه کنترل عکس العمل‌های حرارتی هسته‌ای متحمل می‌شوند و روزی که دانشمندان بتوانند یک چنین عکس العملی را کنترل کنند انسان موفق به در اختیار داشتن منابع قدرت بی‌پایانی خواهد شد.

در اینجا اشاره می‌کنیم که عکس العمل‌های حرارتی هسته‌ای احتیاج به حرارت فوق العاده زیادی در حدود میلیونها درجه دارند و یک چنین درجه حرارتی را امروزه می‌توان از انفجار بمب هبدروژنی بدست آورد. با روی کار آمدن لیزر و متمن‌کر نمودن شعاع آن می‌توان پلاسمما را برای هدفهای مورد نظر بالاتر درجه حرارت کافی بالا برد و با تمکن‌کریک پالس قوی لیزر این امکان وجود دارد تا

پلاسمائی با درجه حرارت فوق العاده زیاد بدست آورد. چندی پیش تجاربی در همین زمینه در انتیتیوی فیزیک لبدف در آکادمی علوم شوروی بعمل آمد، سپرسنی تیم تحقیق را دانشمند روسی آ-پروخوف به عهده داشت در یکی از این آزمایشات که بوسیله لیزر یاقوتی انجام شد موفق گردیدند پلاسمائی با درجه حرارت ۵۰۰۰ درجه کلوین بدست آورند، تجربه دیگری نشان داد در صورت استفاده از لیزری که قدرت هر پالس آن در حدود ۳۰ مگاوات بود بیش از 10^{11} یون دارای انرژی بین ۱ تا ۱۰ کیلو الکترون ولست گردیدند هم چنین نتیجه اندازه گیری ها نشان داد که درجه حرارت پلاسما در تمرکز لیزری با قدرت ۳۰ مگاوات در حدود یک میلیون درجه کلوین می گردد.

این تجارت نشان می دهد که لیزر به مثابه کبریتی است که شعله آن جهت عکس العمل های کنترل شده هسته ای مورد نیاز است. یکی از پیشنهادات جالبی که گردید این بود که از لیزر جهت راهنمایی در طی مسیر اقمار مصنوعی استفاده شود، در سال ۱۹۰۰ دانشمند عالیرتبه روسی لبدف وجود فشار نوری را ثابت نمود و از این اثر با استفاده از یک لیزر پرتوان از سطح زمین جوست تصحیح مسیر یک قمر مصنوعی استفاده شد، نحوه عمل: هنگامیکه فشار نوری حاصله از یک لیزر پرتوان بر روی یک قمر مصنوعی اعمال می شود باعث می گردد این قمر به ارتفاع بالاتر رفته و بدینظریق از پائین آمدن آن در هر دوری که می زند جلو گیری می گردد بنابر این بدینوسیله می توان عمر قمر را در مدارش افزایش داد. همین اثر را

می توان در مورد ایستگاههای فضائی سرنشین دار بکار گرفت . از اشعه لیزر پرتوان ممکن است در جلو گیری از برخورد شهابهای که بین ستارگان حرکت می کنند استفاده نمود ، گرچه این شهابها از اجسام کوچکی تشکیل شده اند ولی با سرعت شگفت آوری حرکت می کنند و بهمین دلیل نیروی برخورد آنها به چندین تن می رسد لذا نباید در سفرهای فضائی آنها را ناچیز شمرد در اینجا شعاع پرتوان لیزر می تواند اینگونه ذرات شهابی را منحرف و از برخورد خطرناک آنها با فضا پیما جلو گیری کند زیرا اگر فضا پیما وارد مسیر اینگونه شهابها شود نتیجه آن چیزی جز هلاکت نخواهد بود ، یک شعاع لیزر که بعنوان رادار کار می تواند بطور زمانی یک چنین مناطق خطر ناکی نظری مسیر شهابها را مشخص کند و کمک زیادی به انتخاب مسیر جهت فضا پیما بنماید ، همچنین لیزرهای موجود در داخل فضا پیما قادر خواهند بود فاصله اجرام سماوی را از فضا پیما مشخص بنمایند که این در هدایت فضا پیما کمک شایانی خواهد داشت یکی از محسن لیزر در این است که ابعاد کوچک آن جهت استفاده در کشتی های فضا پیما مناسب می باشد .

در اینجا بد نیست به ذکر روایتی اشاره کنیم و آن اینستکه در قرن سیزدهم یکی از دانشمندان بنام رو گرییکن پیشنهاد تهیه سیستمی متشکل از چندین آینه را جهت استفاده در جنگ با تاتارها و اعراب نمود و امروزه می بینیم با پیشرفت علوم چگونه ایده انتقال انرژی نور قابل حصول بوسیله لیزر می باشد و شاید از آن جهت انتقال انرژی به نقاطی که دسترسی به آن مشکل و انتقال انرژی با اتخاذ روشهای

ممولی امکان پذیر نمی باشد استفاده نمود.

یکی از طرحهای که اخیراً پیشنهاد شده تهیه شتاب دهنده های الکترونی با استفاده از لیزر می باشد این طرح باین شکل است که چنانچه لوله ای استوانه ای حاوی مواد فعال مناسب را که در انتهای خارجی محور آن یک فیلتر تداخلی نصب شده بوسیله تابش تحریک کنیم نوسانات مربوطه بداخل لوله منتقل می گردد و بموجب محاسبات انجام شده انرژی نورانی حاصله از آن می تواند به حدود ده کیلو وات در سانتیمتر مربع برسد که در اینصورت الکترونها تحت تأثیر میدان الکتریکی بسیار قوی (10^9 ولت بر متر) دارای شتاب می شوند.

بزوادی لیزرهای مربوط به استخراج مواد معدنی و عملیات مربوط به صخره ها بکار گرفته خواهند شد همچنین این دستگاه در شکستن و خرد کردن یخهای اقیانوس و باز کردن راه جهت کشتی ها می تواند مورد استفاده قرار گیرد و در آینده نزدیک ممکن است لیزر کاربردهای وسیع تری در مهندسی ساختمان پیدا کند، بكمک آنها بتوان قالبها و آجرهای گداخته را بیکدیگر متصل و ستون دیواری یک پارچه از آنها تهیه نمود و همچنین خیلی از مواد را که امروزه غیر قابل ذوب هستند بوسیله لیزر بیکدیگر جوش داد حتی پیش بینی می شود با لیزر بتسوان ساختمان ها را خیلی سریعتر و با کیفیت بهتری بنا نمود. و بزوادی لیزر بصورت یک ابزار در کارهای هنری در آید و از آن در گراورهای سرامیکی استفاده شود.

اگر ما در عالم خیال به دور نمای لیزر نگاه کنیم مناظر جدیدی

از لیزر را در سینما و تلویزیون سه بعدی خواهیم دید که البته این مناظر طبیعی سه بعدی رنگی و متحرک کمتر از منابع طبیعی لذت پخش نخواهد بود در این دور نما خواهیم دید چگونه خطوط ارتباطی لیزری تمام شهرها را از نظر ارتباطی زنجیروار به یکدیگر نزدیک می نماید ، پتانسیل شکفت آور یک چنین انتقال اطلاعاتی قادر خواهد بود برنامه های تلویزیونی نظیر برنامه تئاتر و مسابقات ورزشی و فستیوال ها یا ملاقات فضانوردان را در هر نقطه ای از کره زمین پخش نماید که البته مناظری که نشان داده می شود از نظر بعد و رنگ وجه تشابه بسیار زیادی با مناظر طبیعی خواهند داشت . در ناخانمه علاقه مندیم به یک ایده دیگر که بوسیله شکولوفسکی بیان شده اشاره کنیم او در کتابی بنام (جهان زندگی و علت) می نویسد دانشمندان نجوم در تحقیقات خود به ستارگانی بر می خورند که آنها را سوپونووا می نامند این ستارگان کاملاً ملتهب می باشند حال چنانچه فرض کنیم یک تمدن بسیار پیشرفته در فضای دور وجود داشته باشد این احتمال وجود دارد که التهابات و انفجارات عظیمی که در سطح اینگونه ستاره ها وجود دارد در اثر یک تمدن پیشرفته به منظور ذخیره و تهیه فلزات سنگین که مورد نیاز آنان است باشد . اما چگونه این عمل انجام می شود ؟ در اینجا می توان گفت اینگونه اعمال بوسیله لیزر امکان پذیر می باشد ، فرض کنیم زندگی متمدن در ماوراء کره خاکی وجود داشته باشد و این زندگی در مرحله ای از پیشرفت علم باشد که دسترسی به لیزری با قدرت فوق العاده زیاد که با تشعشع گاما با طول موج 10 سانتیمتر کار می کند داشته

باشند، اگر در یچه این لیزر برابر ده متر باشد در اینصورت واگرایی زاویه‌ای آن فقط برابر دویست میلیونیم ثانیه می‌گردد لذا اگر ستاره‌ای از فاصله برابر ده سال نوری مورد انفجار بوسیله این اشعه لیزر قرار گیرد سطحی از اشعه لیزر که بر روی آن متوجه کز می‌گردد بیش از ده کیلو متر نخواهد بود فلوی تابشی که جهت ایجاد انفجار هسته‌ای لازم است برابر 10^{10} فوتون بر سانتیمتر مربع در ثانیه می‌باشد یک چینن فلوی تابشی می‌تواند بوسیله لیزری که دارای قدرتی برابر 10^{12} کیلو وات است ایجاد شود که این رقم ده هزار برابر بیشتر از مجموع قدرتی است که می‌توان بوسیله کلیه منابع انرژی در روزی در حال حاضر تهیه نمود و البته بعد هم نیست یک چینن انرژی در اختیار تمدن‌های پیشرفته تر از ما باشد.

این مثال یکبار دیگر عدم محدودیتهای پتانسیل لیزر را نشان می‌دهد و بیانگر این واقعیت است که با کشف لیزر انسان قدم بزرگی از نظر تکنیک به جلو گذاشته است.

پایان

قيمة ٨٥٠ ريال