ارتباطات بوسیله لیزر

نوشته : Stewrt E Miller
ترجمه : کاظم رحیمیان

خواص منحصر بفرد حاصل ازلیزر بهره برداری از امواج نورانی را در فرستادن امواج الکتریکی تامسافات دور دست امکان پذیر نموده‌است .

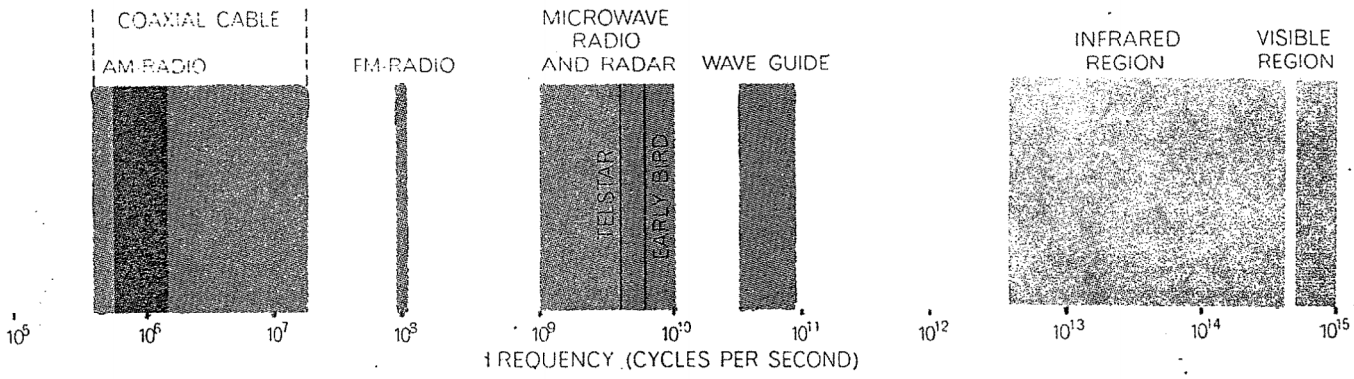
خبر ساخته شدن مدل عملی لیزر که در سال ۱۹۶۰ اعلام گردید توجه محققین بسیاری از رشته‌ها را بخود جلب کرد ـ لیکن امیدواری‌هیچیك از آنها باندازه محققینی کـه در امر برقراری ارتباطات با مسافات دور مطالعه‌میکردندنبود . علت دلگرمی آنها این حقیقت بود که «ظرفیت یك کانال مخابراتی با عرض باند فرکانسهایش متناسب است» و ارآنجا که باند امواج نورانی‌بسیار وسیع است ـ قاعدتاً میتوان میزان بیشتری اطلاع بوسیله این باند وسیع منتقل نمود .

مانع اصلی‌بهره‌برداری‌ازنور برای‌امرمخابرات تا قبل از ۱۹۶۰ عدم وجود «منبع نورانی یکرنگ و غلیظ» بود . از آنجا که نور تولید شده، بوسیله یك لیز ردارای این‌دوخاصیت است ـ تصورمیرود که‌لیزر وسیله خوبی برای بحقیقت پیوستن خواسته‌های یك مهندس مخابرات میباشد . امروزه تعداد فیزیك‌دانها ومهندسینی که«درقسمت‌کاربردلیزر» در امرمخابرات فعالیت میکنند ، از تمام رشته های مربوط بکار برد عمومی لیزر بیشتراست . در این مقاله مؤلف کوشش میکند جمعی از نتایج ومزایای یك سیستم مخابراتی بوسیله لیزر و مشکلاتی کـه در این راه قرار دارند بیان کند .

امروزه برای‌مخابره به‌مسافات‌دور چهارطریقه الکتریکی موجود است . قدیمترین آنها سیستم کابل متحدالمحور است که هنوز هم بسیاری از مخابرات بوسیله آن‌انجام میگیرد. کابل متحدالمحور استاندارد شامل یك اوله مسی‌بقطر $\frac{۳}{۸}$ اینچ ویك سیم مسی در مرکز میباشد . کابلها را بدسته‌های ۸ تا ۲۰ تائی با هم دریکجا دسته‌میکنند. متناسب بامیزان‌اخباری که باید منتقل شود در هر ۲ تا ٤ میل در طول‌کابل باید تقویت کننده‌ای‌قرار داد. کابلهای‌متحدالمحورمعمولی امواج‌رادیوئی‌بافرکانسهای‌بین ۵۰۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰۰۰ سیکل در ثانیه را که معادل با طول موجهای ۶۰۰ تا ۱۵ متراست انتقال میدهند .

بزرگترین‌رقم‌مخابرات‌را درآمریکا برجهای مخابراتی مایکروویو بعهده دارند که ازطریق هوا و بدون سیم صورت میگیرد. برجهای مزبور برای رله کردن اخبار درفواصل ۲۰ تا ۳۰میل‌ازهم‌قراردارند . در سیستم مذکور اشعه مایکروویو که باند فرکانس آن عموماً بین یك بلیون و ده بلیون سیکل در ثانیه است بکار میرود .

سیستم سومی که در ارتباطات فواصل دوربکار



شکل ۱ - درشکل فوق که قسمتی ازطیف الکترومغناطیس رسم شده باندهای فرکانسی که سیستمهای مخابراتی در آن باندها کارمیکنند خاکستری رسم شده‌است ، ازآنجاکه ظرفیت یك کانال مخابراتی باعرض باند فرکانسهایش‌متناسب است در نتیجه میزان اطلاعی که درطیف نورمرئی (قسمت راست) حمل‌میشود چندین برابر میزان اطلاع مزبور درمورد فرکانس‌های کمتر رادیوئی‌میباشد (توجه داشته باشیدکه طیف‌الکترومغناطیس فوق‌بصورت لگاریتمی‌ترسیم شده‌است)

میرود سیستم امواج میلیمتری و سانتیمتری (**Wave guide**) میباشد وباوجوداینکه چندسالی ازتکمیل آن میگذرد هنوزبمیزان وسیعی‌بکار برده نشده است . درسیستم فوق‌یك لوله خلاء بقطر۲ اینچ برای‌فرستادن امواج میلمتری‌بکارمیرود که فرکانس های‌آن بین۳۰تا۹۰ بلیون سیکل درثانیه است. فعلا بهترین سیستم همین سیستم (**Waue gvide**) است زیرا میتوان حجم بسیار زیادتری اطلاع بکمك آن منتقل نمود .

چهارمین وجدیدترین تکنیك مخابره از دور بکار بردن اقمار مصنوعی در مخابرات میباشد.اولین باراین‌سیستم بوسیله قمرمصنوعی **Telstar** بین‌اروپا وآمریکا با باندفرکانس مایکروویو برقرار گردید.

در هریك از سیستمهای ارتباطی فوق از روشی که بآن**Multiplexing**میگویندتبعیت‌میشودطبق این روش‌دریك لحظه وبوسیله یك کانال تعداد زیادی خبر ارسال میگردد . مثلابرای مخابره صوت انسان کانالی که باندآن بین۲۰۰ تا ۴۰۰۰ سیکل در ثانیه میباشد لازم‌است. اما میتوان چنین اطلاعی را دربانـد ۱۰۰۲۰۰ تا ۱۰۴۰۰۰ سیکل‌درثانیه نیز منتقل‌نمود. با بیان بهتری دربانـدی که پهنای‌آن ۳۸۰۰ سیکل‌در ثانیه باشد میتوان صوت انسان را انتقال داد .

انتقال‌علامتی ازیك باندفرکانس به باندیگر را مدولاسیون گویند . برای مدوله کردن بدون اغتشاش وتداخل با علامت‌دیگر،هرسیستم مخابراتی باید دارای اسیلاتوری با باند بسیار باریك باشد که بوسیله‌آن بتوان فرکانس‌موج حامل را ایجاد نمود. موج‌حامل‌مزکور که فقط‌دارای‌یك‌فرکانس که همان فرکانس موج حامل‌است‌میباشد ، بوسیله تعداد زیادی علامت صوتی‌مدوله میگردد ودرکانال‌فرستاده میشود (ش ٦) . اکنون بسادگی‌میتون‌نتیجه گرفت که مثلا برای‌مخابره ۱۰۰۰ علامت با باند $^{C.P.S}$۳۸۰۰(که باندکانال تلفنی‌است) باندفرکانس‌کانال اصلی‌بوسعت ۳/۸ مگاسیکل‌برثانیه‌میباشد . بروش مشابهی‌میتوان موج حامل دیگری (با فرکانس‌دیگر) انتخاب کرده ۱۰۰۰کانال مخابراتی تلفنی دیگر برآن سوارنمود. وبکمك‌شبکه‌های‌مخصوص‌الکتریکی که این‌باندهای وسیع‌فرکانس‌را بترتیبی ازطریق یك‌کانال مخابراتی واحد میفرستند مخابره نمود . در انتهای دیگر خط یك شبکه‌مشابه‌علامت‌رسیده را به مولفه‌های‌مختلفش تجزیه‌میکند.وسپس آنهانیزبوسیله عمل‌دمودولاسیون به علامات تلفنی مجزا تجزیه میگردند .

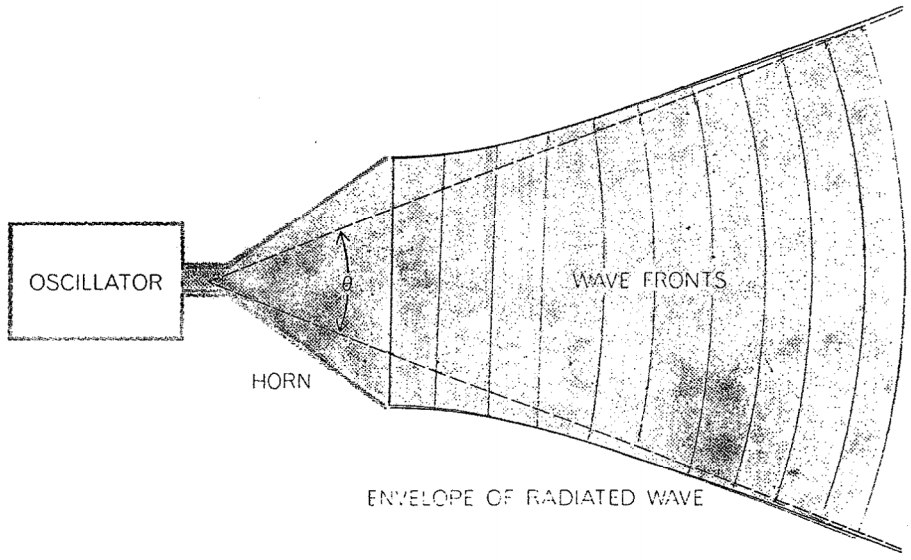
بزرگترین مزیت سیستم **Multiplexing** بهره اقتصادی آنست . مثلا فرستادن یك‌دسته علامت

ازطریق یك کابل متحدالمحور خیلی ارزانتر از فرستادن یك یك آنها ازچندین کابل متحدالمحور میباشد و باین دلیل همه تکنیکهای ارتباطی بـرای رعایت روش **Multiplexing** تغییراتی را قبول کرده‌اند .

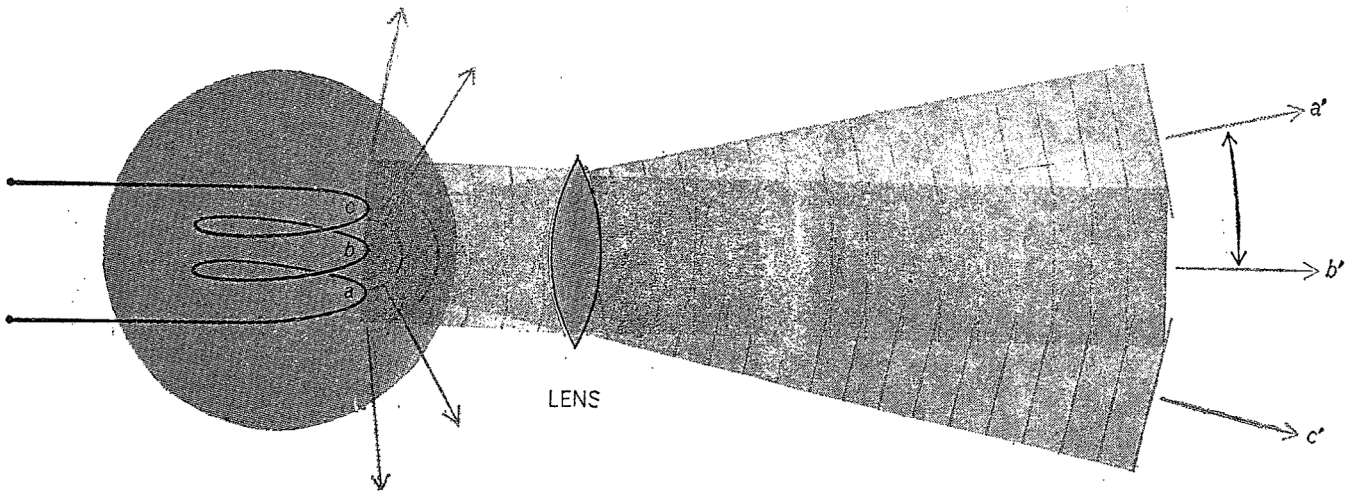
اکنون این مطلب که چرا تا این حد مهندسین مخابرات به‌ناحیه مرئی طیف امواج الکترومغناطیس توجه میکنند روشن میگردد . از آنجائیکه پهنای باند هر کانال مقدار ثابتی است در ناحیه مرئی طیف نور که بسیار وسیعتر است میتوان تعداد بیشتری کانال مخابراتی سوار نمود و واضح است کـه ظرفیت کانال اصلی در فرکانسهای بالاتر بیش از ظرفیت آن در فرکانس‌های پائین‌تر میباشد . فرکانس موجی که درمرکز ناحیه مرئی طیف نور قرار گرفته ۱۰۰/۰۰۰ مرتبه از فرکانس موجی بطول شش سانتیمتر که در سیستمهای رادیوئی مایکروویو بکار میرود بزرگتر است ودر نتیجه ظرفیت یك موج نورانی حدود ۱۰۰/۰۰۰ مرتبه از یك سیستم مایکروویو بیشتر خواهد بود . این حقیقت مدتهاست که برای مهندسین مخابرات مسلم شده واز سال ۱۹۵۰ درلابراتوار تلفن بل کوششهائی برای بهره‌برداری از نور برای مخابرات صورت گرفته است .

درارتباطات رادیوئی از تعدادی عنصر بی‌جان **Passive** (خازن و سلف) و تعدادی عنصر جاندار **active** (لامپ یا ترانزیستور) و یك منبع جریان ، قدرت لازمه ایجاد میگردد . این عناصر مجموعاً یك اسیلاتور را تشکیل میدهند .

تقریباً همه قدرت اسیلاتور رادیوئـی در یك فرکانس متمرکز میگردد که فرکانس مزبور را با تغییر خازنها یا سلفهای مدار میتوان تغییر داد . حال اگر خروجی چنین اسیلاتوری را به‌داخل یك شیپور **horn** که برای این عمل طرح شده است تغذیه نمائیم، انرژی بصورت شعاعی درزاویه‌ایکه برابر باطول موج تشعشع تقسیم برقطر روزنه شیپور **horn** است پخش میگردد. از آنجا که همه انرژی درمدارهایی تولید میگردد که طول آنها درمقایسه باطول موج بسیار کوچك است وچون اغلب انرژی ازیك شیپور horn باروزنه بزرگ تشعشع میگردد پیش موجهای(**avefront**)امواج دردهانه شیپور **horn** مسطح وصاف هستند و بتدریج همانطور که موج ازدهانه شیپور دورمیگردد بصورت



شکل ۲ - امواج رادیوئی حاصل از یك اسیلاتور رادیوئی (طرف چپ) بصورت جریـان نوسانی به شیپوریکه بطور مناسبی‌طرح شده (وسط شکل) تغذیه میشوند وازآن امواج در زاویه‌ای برابر θ منتشرمیگردند . زاویه θ برابر باطول‌موج تشعشع تقسیم برقطرظاهری شیپورمیباشد . دردهانه شیپور امواج دارای پیش‌موجهای مسطح هستند ولی‌بتدریج که ازآن‌دور میگردند شکل کروی‌ای بخود میگیرند . دراینجا زاویه θ خیلی‌بزرگ نمایش‌داده شده وقاعدتاً از ۱۰ درجه تجاوز نمیکند.



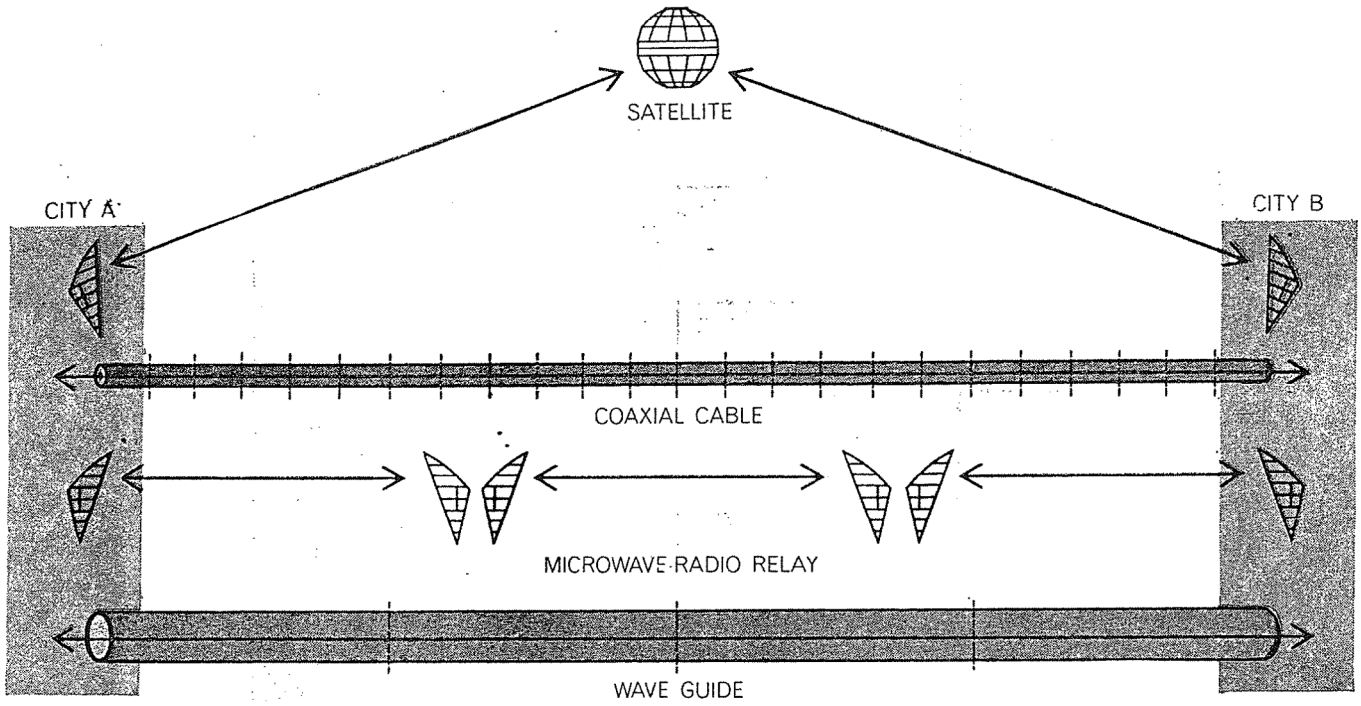
شکل ۳ - امواج نورانی ناچسبیده (incoherent) حاصل‌ازلامپ های باسیم داغ یا اینکاندسانت (طرف چپ) درتمام جهات تشعشع میشوند یاواضح‌تر بگوئیم هرنقطه سیم درتمام جهات تشعشع‌میکند واگر بخواهیم که نورحاصل ازیك چنین‌لامپی را بصورت شعاع مستقیم جهت داری درآوریم فقط قسمت کوچکی ازتشعشع‌حاصل‌ازسیم مورد استفاده قرار میگیرد . بعلاوه هرنقطه تشعشع‌کننده شعاعی تولید میکند که زاویه‌اش‌نسبت به محور (bb') متناسب بافاصله‌اش ازمرکزسیم میباشد . این دو مانع و این حقیقت‌که یك سیم داغ قدرت رادرباند وسیعی‌ازطیف نورتشعشع‌میکند لامپهای اینکاندسانت را درسیستمهای مخابراتی‌مسافت دورغیرقابل‌استفاده کرده‌است .

درمیآید.

درنظر بگیرید که نور چگونه در لامپ‌های معمولی باسیم داغ یا فلوئورسانت تولید میگردد . (ش٤) ، جریانی که از سیم میگذرد آنرا بمیزان زیادی گرم مینماید و این گرما سبب انتشار انرژی الکترومغناطیسی در ناحیه نورمرئی میگردد. نور در تمام جهات از سیم گرم منتشر میشود یا بهتر بگوئیم هرنقطه درتمام جهات تشعشع مینماید . این اختلاف مهم بین اسیلاتور رادیوئی و این منابع نور موجود است وهمین اختلاف بود که قبل‌ازایجاد لیزرکاربرد نور را درمخابرات غیرممکن‌میساخت.وقتی‌بخواهیم نورمنتشره ازسیم داغ را درشعاعی متمرکز کنیم‌چند اشکال پیش میآید . اول اینکه فقط قسمت کوچکی ازنورسیم به‌عدسی مینابد . دوم‌اینکه هرنقطه تشعشع کننده شعاعی تولید میکند که زاویه‌اش نسبت‌بمحور شعاع‌اصلی‌متناسب‌بامسافت آن نقطه ازمرکزسیم‌تغییر میکند . برای کوچك کردن این زاویه تاحدممکن «منابع نقطه‌ای» نورمثل قوس کربن یالامپهای دیگر که در آنها شعاع باریکی از نور موجود است بکار میروند . معهذا بامنابع نور نقطه‌ای نیزشعاع حاصل در زاویه‌ای برابر طول موج نور تقسیم برقطر منبع تشعشع میشود وضمناً واضح است که چنین منابع نور نقطه‌ای قدرت تشعشع کمی دارند که در مقایسه با آنچه که لازم است بسیار کم میباشد .

تباین دیگربین یك منبع نور ویك منبع‌موج رادیوئی دراین است که فرکانس امواج صادره ازسیم داغ بادرجه حرارت تغییرمیکند و در نتیجه یك سیم داغ دارای باند پهنی خواهد بود . در حالیکه یك اسیلاتور رادیوئی دارای باند بسیار باریکی است و فقط درآن فرکانس تشعشع میکند .

عدم کفایت منابع نور موجود برای اجرای عمل یك اسیلاتور ، بهره‌برداری‌ازنوررا درارتباطات بتعویق انداخته است ، و بواسطه اینکه باند امواج حاصله وسیع میباشد علاوه برخطر تداخل با امواج صوتی تداخل‌بین خودشان نیزصورت میگیرد. برای جلوگیری ازاین وضع ازفیلترها استفاده‌شد و گرچه این اقدام تا اندازه‌ای باند تشعشع را باریك کرد لیکن کسر کوچکی از قدرت اصلی بدست آمد و



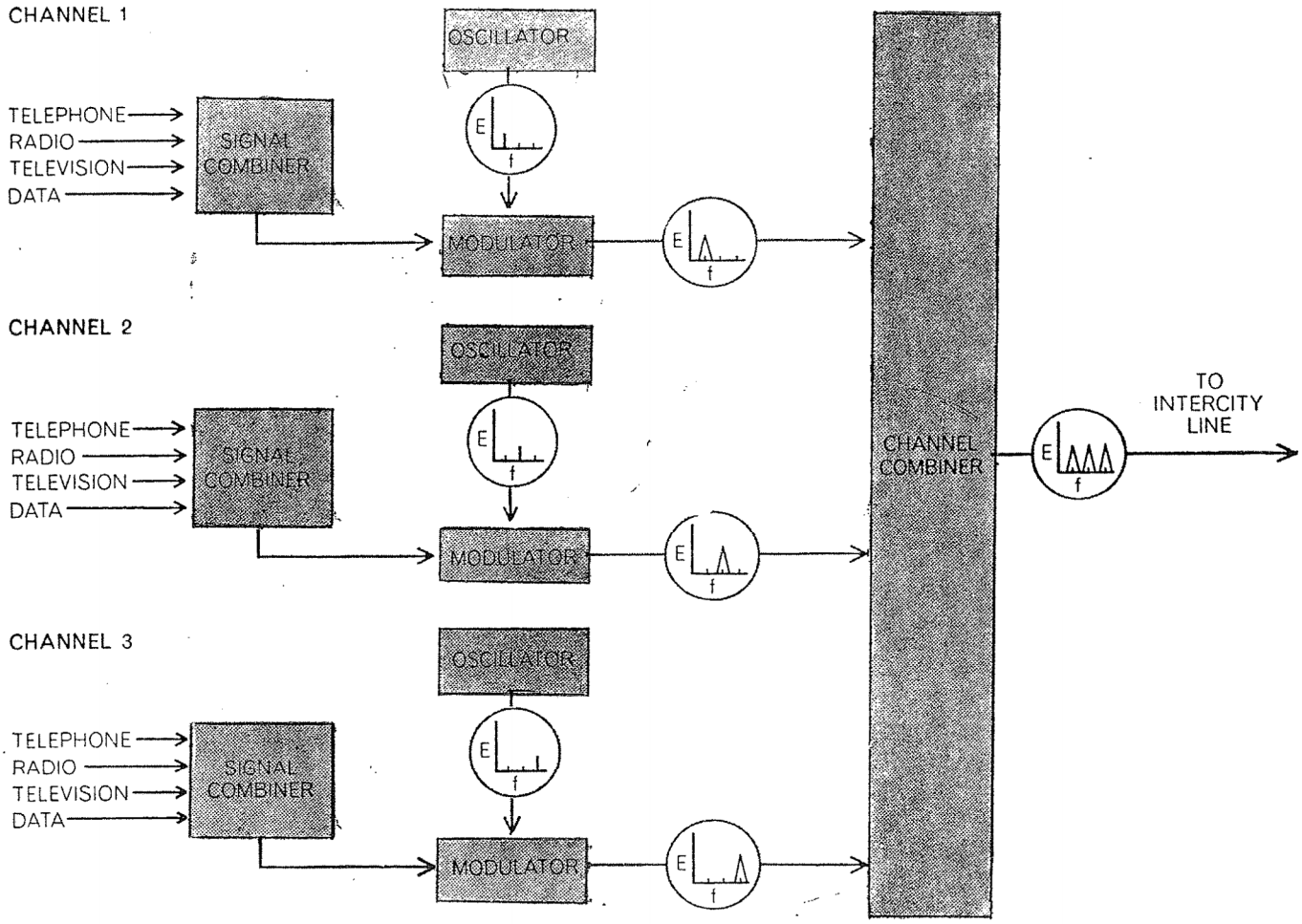
شکل ۴ - درشکل‌فوق سیستمهای موجود مخابراتی از دور بنظرمیرسند .

خلاصه عدم کفایت این منابع بهره‌برداری از نور را درارتباطات غیرممکن ساخت .

اختراع لیزر درسال ۱۹۵۰ بوسیله **Charles H. Townes** و **Arttur L. Schawlow** راهی برای غلبه براین مشکل گشود . لیکن بایدتذکرداد که در سال ۱۹۱۷ انشتین لیزر و والده‌اش میزر را پایه گذاری نمود ، زیرا اونشان داد که میتوان ازاتم در شرایط خاصی نور کنترل شده‌ای بدست آورد و اساس این وسیله براین اصل بناشده است . (لیزر از ترکیب‌حروف‌اول‌کلمات: **Light amplification by stimulated emission of radiation** میزر ترکیب حروف اول کلمات **microwave amplification by stimulated emission of radiation** میباشد .)

برای درك بهتر **stimulated emission** میبایست ببینیم درلامپهای فلوئورسانت‌واینکاندسانت چگونه نور منتشر میگردد . درهردو حالت تشعشع نتیجه تغییر مداریك الکترون دریك مولکول یا یك اتم است. طبق‌قواعد مکانیك کوانتیك‌ترتیبات‌مداری مجزائی موجود است که برای گروه مفروضی از الکترونها میتوان تعیین نمود و تعداد خاصی ازاین ترتیبات ازدیگر ترتیبات بیشتر انرژی دارند وقتی الکترونی از مدار پرانرژی به مدار کم انرژی‌تری میآید تفاضل انرژی مزبور بصورت تشعشع ظاهر میگردد که‌قسمتی‌الکترومغناطیس، قسمتی‌آکوستیك وقسمتی نوسانی‌است . ازآنجا که سطوح‌انرژی‌جمیع مدارها با هم برابر نیستند تشعشع الکترومغناطیسی حاصل ازهرتغییرمدار الکترونی‌خاص دارای‌فرکانس مربوط بآن مداراست . بهمین‌دلیل دریك جسم‌جامد داغ تغییرمدارهای الکترونی مختلفی خواهیم‌داشت. بطوریکه‌یك نورمعمولی‌بافرکانسهای مختلف وزیادی تشعشع میگردد . در طیف الکترومغناطیسی یك سیم داغ ، مطالب پیچیده زیادی بخاطر فعل و انفعالات آکوستیکی پیش میآید که دراینجا ازبحث راجع به آنها خودداری میشود .

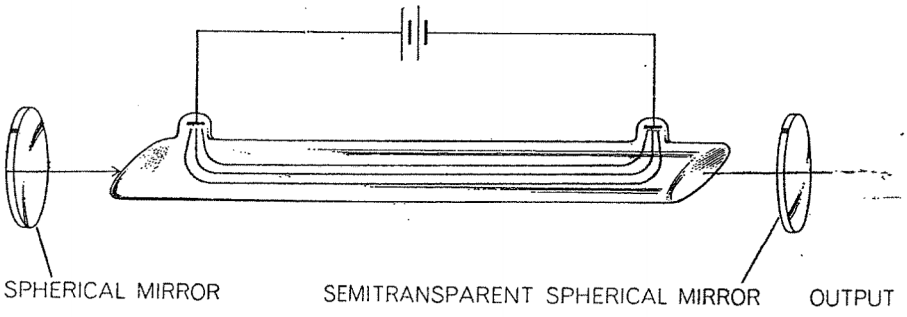
گرچه جریان‌الکتریکی درلامپ‌فلوئورسانت ازجسم جامدی عبور نمیکند ، واز طریق گاز داخل



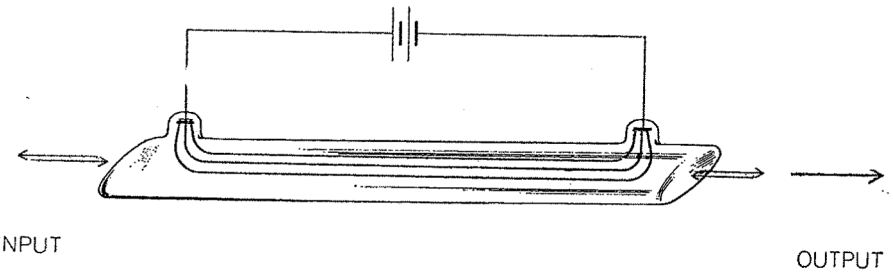
شکل ۵ - multiplexing ـ فرآیندیکه طبق آن در یك لحظه میتوان چندین اطلاع گوناگون را از طریق یك کانال انتقال داد. یك فرکانس حامل بوسیله اسیلاتوری تولید میگردد و سپس بوسیله علائم مختلفی مدوله میشود با اسیلاتورهای دیگری فرکانسهای حامل دیگری میسازند وباعلائم دیگری مدوله میکنند . ومدار الکتریکی خاصی فرکانسهای حامل مختلف را باهم طوری ترکیب میکند که بتوان آنرا ازطریق یك کانال عبورداد . این عمل را **multiplexing** گویند .

لامپ میگذرد لیکن مکانیسم تشعشع آن بامکانیسم تشعشع سیم داغ تفاوتی ندارد . الکترونها از سطح انرژی کمتری به سطح انرژی بیشتری آمده وپس از اینکه بوضع اول خود بازمیگردند انرژی اضافی را بصورت نور تشعشع میکنند . این وضع در لامپهای فلوئورسانت تا اندازه‌ای ساده‌تر است زیرا امواج آکوستیکی در آن قابل صرفنظر کردن میباشند وفرکانس نورمنتشرشده مستقیماً باتغییرات سطوح انرژی الکترونی بستگی دارد ودرلامپهای با گازهای مختلف رنگهای متفاوت ومتمایزی خواهیم داشت که ازجمله زرد برای سدیم ، بنفش برای بخار جیوه و غیره را می‌توان نام برد. گرچه پهنای باند فرکانس لامپهای مزبورخیلی باریك است ومامیتوانیم آنرا بصورت یك یکرنك ببینیم باوجوداین برای استفاده درارتباطات وامثالهم باند وسیعی بحساب میآید.

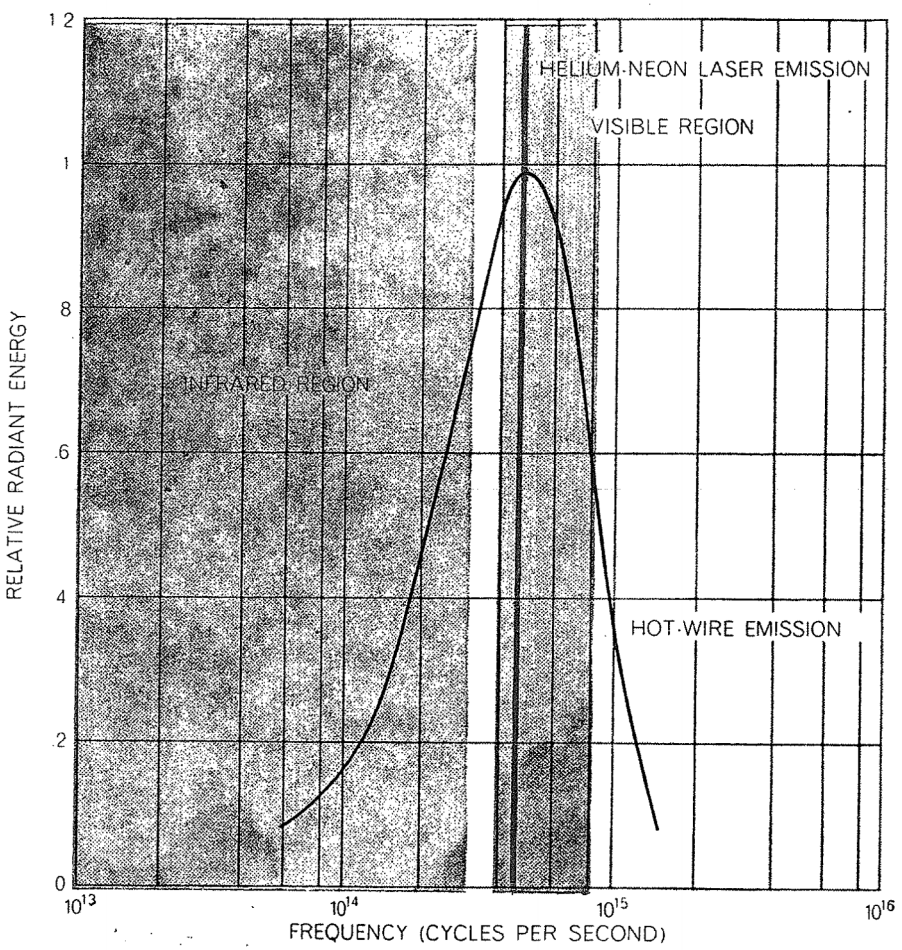
اختلاف عمده بین منابع نور معمولی و لیزر اینست که انتشارانرژی اضافی الکترونها را در لیزر میتوان کنترل نمود در حالیکه چنین فرصتی برای منابع نورانی دیگرنیست. انشتین نشان دادهنگامیکه یامولکولی دارای انرژی‌ای بیش‌ازحالت پایدارخود میگردد ، این انرژی ذخیره شده اضافی را میتوان بایك میدان الکترومغناطیسی ضعیف بافرکانس مخصوصی کنترول نمود . (در حالیکه در لامپ فلور سانت و لامپ باسیم داغ این انرژی بطور دلخواهی کروی



شکل ۶ - الف ـ لیزر گازی درحقیقت یك تقویت کننده است. موج ورودی ضعیفی باعث ایجاد **stimulated emission** از اتمهای تحریك شده گازمیگردد وموجی قویتر ویاهمان فرکانس ظاهر میکند



شکل ۶ - ب ـ اگردر دو انتهای لیزر دو آینه قراردهیم چون یك اسیلاتور کارمیکند . میتوان تشابه این وضع را با محفظه رزونانت در سیستم های امواج سانتیمتری ملاحظه نمود .



شکل ۷ - صدور اشعه از لیزر در یك فرکانس خاص صورت میگیرد (خط قائم رنگی) وانحراف از آن فقط چند هزار سیکل است لیکن برعکس صدور اشعه از یك لامپ باسیم داغ (منحنی سیاه) در باند وسیعی صورت میگیرد .

تشعشع میگردد). آزادی انرژی کنترول شده باروش مذکوردرفوق را تشعشع تحریك شده«stimulated emission» میگویند. در این عمل فرکانس موج حاصل برابرفرکانس‌موج تحریك کننده میباشدبااین تفاوت که میزان انرژی موج حاصل مقدارزیادی از موج‌اولیه‌بیشترخواهدبود. درروش فوق بایدتشعشات حرارتی را درحد مینیمم‌می‌قرارداد.

همچنین‌فرکانسهای منتشره‌ازیك لیزرامیتوان باتغذیه‌قدرت درمدارهای خاصی ازمدارات الکترونی اتمها کنترل نمود. این‌روش‌بسیارپیچیده است‌ونمیتوان دراینجا آنرا بخوبی توضیح داد. لیکن‌همینقدر ذکر میگردد که در شرایطی این عمل صورت میگیرد که اتمهای تشعشع کننده‌کاملا ازهم دورباشند. در گازها چنین وضعی موجود است لیکن درمورد جامدات باید چنین ترتیبی را بوجود آورد. روشیکه امروزه بکار میرود باینصورت‌استکه اتمهایامولکولهای جسم مورد نظررا باماده جامدی که نسبت‌به تشعشع تحریك‌شده کاملاشفاف‌است ودر باندفرکانس‌تشعشع کاملاpassive میباشد مخلوط میکنند (جسم جامدیکه در مجاورت اتمهای تحریك شده هیچ اختلاف سطح انرژی‌ای نداشته باشد.) درنتیجه چنین اختلاطی درعین اینکه در اصل عمل تغییری حاصل نشده فاصله بین عناصر تشعشع کننده افزوده شده است. حال درچنین وضعی باتزریق انرژی باندازه‌ایکه فقط سطع انرژی‌اتمهای ایزوله شده افزایش یابد، میتوان به تشعشع تحریك شده‌ایکه درباند بسیارباریکی قرار دارد رسید.

درلیزرهای گازی (چون لیزر هلیوم ـ نئون که درشکل۶ نشان داده شده است) تخلیه الکتریکی ثابتی در گازها برقرار میکنند. در ناحیه تخلیه الکترونهای وابسته به اتمهای نئون به سطوح‌انرژی بالاتری میرسند که از آنجا ممکن است احتمالا به سطوح انرژی پائینتری (بااختلاف سطح خیلی کم) بروند. این تغییرسطح انرژی برای تشعشع نورقرمز بطول موج ۶/۳۲۸ آنگستروم (۴۷۳ تریلیون‌سیکل‌در ثانیه)کافی است. حال واضح‌استکه اگردراین‌شرایط موج الکترو مغناطیسی بفرکانس ۴۷۳۴۷۳ تریلیون سیکل‌درثانیه باقدرت‌خیلی کم ازلوله لیزر عبورداده شود تشعشع تحریك شده‌ای باهمان فرکانس از گاز نئون حاصل میگردد که دارای قدرت بسیار زیادی است. بایدتوجه‌داشت که‌دراینموردفقط موج‌بافرکانس مربوط میتواند تشعشع تحریك شده را سبب شود. در نتیجه امواج‌بافرکانسهای‌دیگر بدون‌هیچگونه‌تغییری ازلیزرخارج میشوند. بعلاوه اگرموج ورودی دارای پیش‌موج مسطح باشدموج‌تقویت شده نیزدارای‌چنین پیش موجی خواهد بود. خاصیت دوم وبسیار مهم که بآن‌چسبندگی‌فضائی(coherence)میگویندبخلاف سیمهای داغ درلیزرها موجوداست.

باافزودن‌دوسطح منعکس کننده به‌لیزرمیتوان آنرا تبدیل‌به یك اسیلاتور نمود: (شکل۶ـب)میدانیم که در محفظه رزونانت نیزچنین اسیلاسیونی صورت میگیرد. موج نورانی‌ایکه بین دوآینه نوسان میکند تارسیدن‌تمام‌الکترونهای تحریك شده به سطح‌انرژی پایدارشان ادامه خواهد داشت و چون آینه‌ها تا ـ اندازه‌ای شفاف هستند قسمتی‌ازانرژی بتدریج‌خارج میگردد ودرنتیجه‌اسلاسیون متوقف خواهد شد. موج خروجی‌این‌لیزردریك‌فرکانس‌متمرکزشده وانحراف ماکزیمم آن از فرکانس اصلی‌فقط چندهزار سیکل است. ضمناًدراینمورد نیزچون لیزرتقویت کننده‌نور خروجی دارای‌چسبندگی‌فضائی‌خواهد بود.

دوخاصیت تکرنگی وچسبندگی فضائی، لیزر را به یك اسیلاتور بسیار مفید برای بکار رفتن در سیستمهای ارتباطی از فواصل دور تبدیل کرده‌اند. چیزیکه در مورد چسبندگی‌بسیار جالب‌است. اینکه چسبندگی فضائی یك‌شعاع لیزر «انتقال‌جهت دار»را

که با روشهای رادیوئی معمول غیر قابل‌دسترسی‌بود امکان پذیر میسازد . لیزر شعاعی تشعشع میکند که تقریباً برای مسافتی برابر مربع قطر منبع تقسیم بر چهار برابرطول موج تشعشع دارای عرض ثابتی است (ش ۸ـالف) ، پس‌ازاین قاصله‌شعاع بتدریج گسترش میابد تابصورت یك‌مخروط درآید که زاویه‌رأس آن برابر طول موج تشعشع تقسیم برقطر منبع‌میباشد. همانطور که ملاحظه میگـردد گسترش شعاع لیزر متشابه با امواج رادیوئی است وا ختلاف فاحشیکه موجوداست‌بخاطراختلافیستکه طول‌موجهای‌مربوطه با هم دارند .

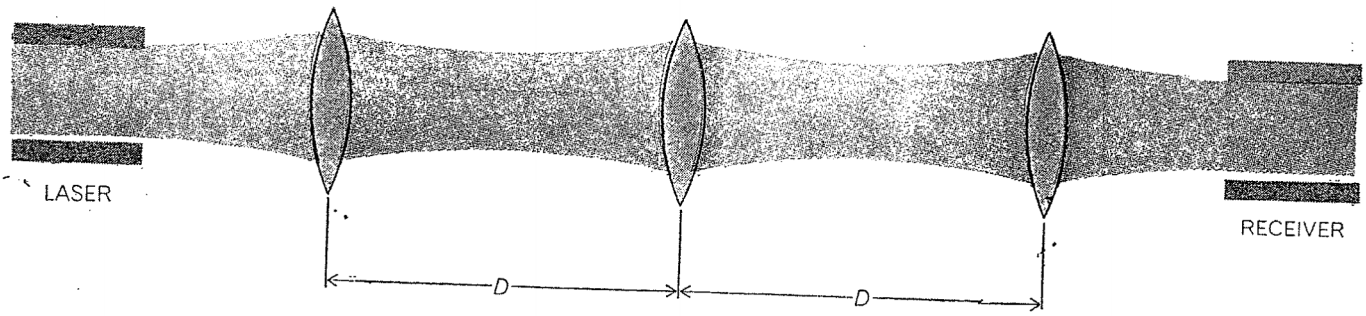
مثلادرموردیك‌سیستم‌مایکروویورادیوئی‌عرض شیپور Horn آنتن حدود ۱۰ پاوطول موج‌تشعشع شده ۷/۵ اینچ است وبابکار بردن فرمول فوق‌نتیجه میشود که ما کزیم‌مسافتی که عرض‌شعاع‌ثابت میماند برابر ۱۰۰ پا میباشد . یعنی اینکه گیرنده ای با شیپوری ۱۰ پائی در فاصله ۱۰۰ پـا میتواند قسمت اعظم انرژی را دریافت نماید . لکن در مورد لیزر عرض‌باند ممکن است ۲ اینچ وطول موج‌شعاع‌حدود ۶۳۰۰ آنگسترم باشد . باقرار دادن مقادیر مذکور در فرمول‌فوق نتیجه میشود که‌تا $\frac{3}{5}$مایل عرض‌شعاع تغییری نمیکند یعنی از عـدسی دواینچی میتوان در فاصله $\frac{3}{5}$مایل ازلیزر قسمت اعظم قدرت فرستاده‌شده را عبور داد .

درموردسیستمهای مایکروویو وسایل‌رله کننده را در فاصله ۲۰ تا۳۰مایلی از یکدیگر قرارمیدهند وبا این ترتیب قدرت گرفته شده حدود یکصدهزارم قدرت فرستاده شده است. لکن اگر درسیستم‌مخابره بوسیله‌لیزر فاصله عدسیهارا حدود همان $\frac{3}{5}$مایل‌قرار دهیم قدرتیکه بـه گیرنده میرسد فقطیك صد هزارم کاهش یافته است و اگـر بخواهیم فاصله گیرنده و فرستنده لیزی را آنقدر اختیار کنیم که قدرت‌رسیده به گیرنده‌یکصد هزارم‌قدرت‌فرستاده شده باشدفاصله بین گیرنده وفرستنده بمراتب بیشتر از فاصله بین گیرنده و فرستنده مایکروویوی کـه همان میزان اتلاف انرژی را داشته‌باشد خواهد بود .

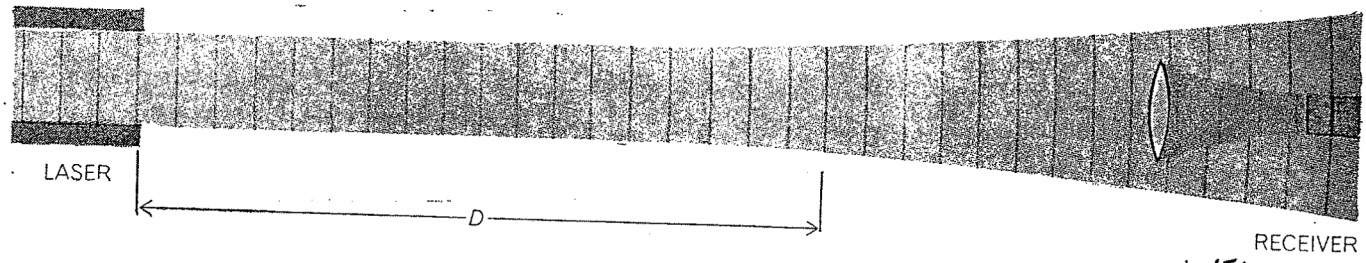
با بررسیهای‌فوق‌ملاحظه میگردد که‌دوخاصیت اساسی‌لیزر یعنی تکرنگی وچسبندگی فضائی ، آنرا وسیله بسیارمفیدی در امر مخابره نموده است .لکن با اینهمه مسائل دقیق بسیاری‌موجودند که باید حل شوند در ذیل به قسمتی از این مسائل و حل آنها می‌پردازیم .

برای‌ساختن‌یك‌سیستم‌ارتباطی‌قابل‌بهره‌برداری مؤثر ، تعداد زیادی لیزربرای نوسان سازی‌لازمند . فرکانسهای آنها بایداز هم‌کاملا متمایز باشند تاهنگام ترکیب درشبکه ارتباطی باهم‌مدوله نشوند ، ازجهت دیگر فاصله زیاد فرکانسها نیزنامطلوب است زیرادر اینصورت تعداد کمتری‌کانال ارتباطی‌خواهیم داشت. ضمناً بدست‌آوردن یك سری فرکانس‌خاص‌کارساده‌ای نیست زیرافرکانس‌موج‌تشعشع‌شده‌بستگی به‌اختلاف سطوح انرژی در اتمها ومولکولها دارد ودریك ماده مفروض اختلافات انرژی سطوح‌مختلف با یکدیگر مقادیرثابتی‌هستند که فقط به نوع‌ماده بستگی‌دارند. تحقیقاتی صورت میگیرد تا بتوان فرکانس تشعشع‌را برای مواد مختلفی که در لیزرها بکار میروند پیش بینی نمود.

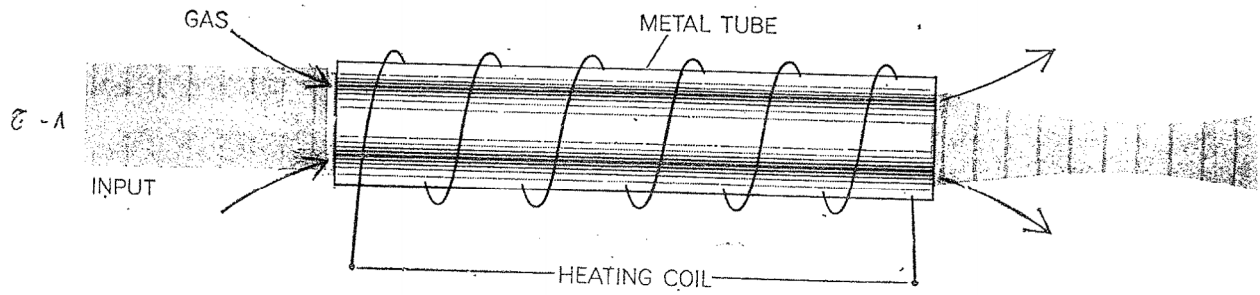
مسئله دیگراینکه یك مولکول‌مفروض‌ممکن است بیش از یك فـرکانس انتشار داشته باشد . مثلا مخلوط هلیوم ـ نئون که قبلاتذکرداده شد میتواند امواج با فرکانس ۲۶۱ تریلیون و ۸۸/۵ تریلیون و ۴۷۳ تریلیون برسیکل برثانیه تشعشع نماید . لکن میدانیم که درمورد کاربرد هرلیزر فقط یك فرکانس مورد نظر میباشد و تکنیکهایی یکارمیروند تا نتیجه مطلوب بدست آید وفقط فرکانس مورد نظر از لیزر



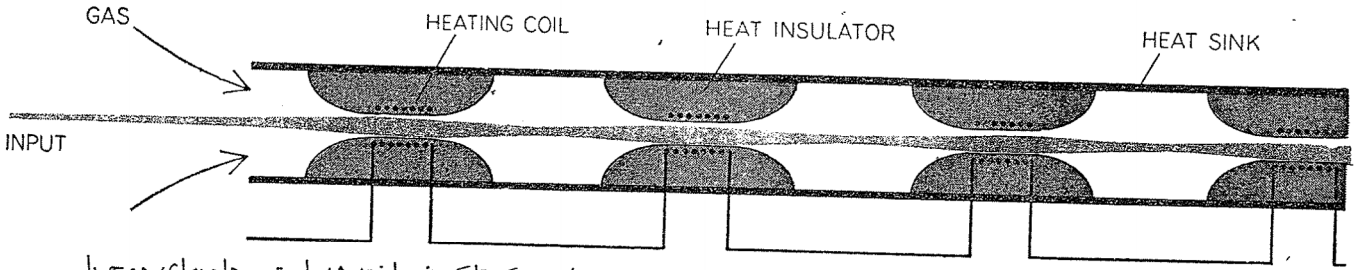
شکل ۸ - الف



شکل ۸ - ب



شکل ۸ - ج



شکل ۸ - د ـ هادی موج باعدسیهای گازی یکی از چندین نمونه‌ایست که تاکنون ساخته شده‌است . هادیهای موج با عدسیهای گازی را باید برای تلرانسهای کمترساخت وهنوز مطالعه زیادی، دراطراف آنها باید صورت گیرد .

تشعشع شود . گرچه دراین‌رشته هنوز مطالب زیادی نامکشوف مانده لیکن‌پیشرفتهای زیادی نیز حاصل شده‌است . مثلا امروزه لیزرهائی باقدرتهای‌خروجی ازیك هزارم تا چندین‌میلیون وات ساخته شده‌اند که بـا فرکانسهای گوناگونـی کار میکنند ، اخیراً در لابراتوارتلفن بل وسیله‌ای‌شبیه لیزر ساخته و بمعرض

نمایش گذاردند که دارای فرکانس متغیری است و با تغییر درجه حرارت محیط تغییر میکند ومیزان تغییرات آن تا ۰/۰۵. اطراف فرکانس ۳۰۰ تریلیون سیکل در ثانیه است .

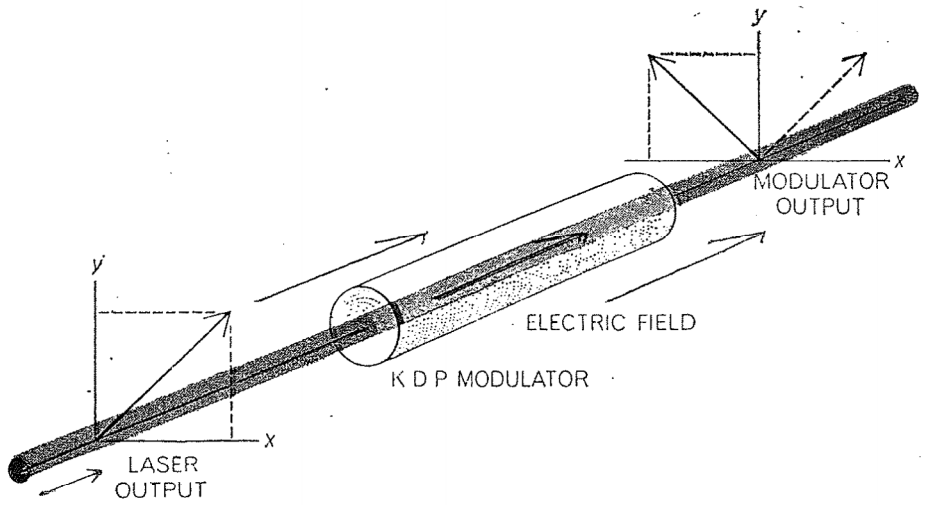
مسئله دیگری که گروه زیادی را بخود مشغول داشته عبارتست از «انتقال شعاع لیزر تا مسافات دور» در فضای خلاء خارج اتمسفر زمین بواسطه اتلاف کم انرژی با بکار بردن یك شعاع کاملا جهت دار میتوان چنان سیستمی داشت لیکن از آنجا که آتمسفر زمین و و منضماتش مخرب امواج الکترومغناطیس هستند میزان اتلاف انرژی بسیار زیاد است . (از جمله منضمات آتمسفر باران و برف و ..... رامیتوان نام برد .) هنگامیکه خط ارتباطی از آتمسفر میگذرد باید حتماً از حفاظی استفاده نمود . تذکر اینکه احتیاطهای فوق در مورد سیستم ارتباطی لیزری با موج مدوله شده فرکانس و دامنه است و در مورد مدولاسیون پالسی (**pulse modulation**) میتوان از سیستم بدون خطا رتباطی که در آن موج مستقیماً از جو میگذرد استفاده نمود . امروزه بررسیهائی بعمل میآید تا ملاحظه گردد که آیا میتوان درجو از سیستم لیزری با اشعه مادون قرمز استفاده نمود یا نه ؟

سیستم ارتباطی بامسیر حفاظدار بکمك لوله‌های بدون منفذ وتعدادی عدسی عملی شده است . دریکی ازسیستم‌های طرح شده لوله مسیررا بقطر یك اینچ و فاصله عدسیها را ۳۰۰ پا اختیار کرده‌اند . اشکالی که دراین سیستم پیش میآید اینستکه چگونه اشعه را از قسمتهای منحنی (که بواسطه پستی وبلندیها و انحناء زمین حاصل میگردند) عبور دهند ؟ این اشکال را نیز با روش خاصی رفع کرده‌اند که ذیلا یادآوری میشود .

اگر عدسیهای $\frac{1}{4}$ اینچی را بفاصله چند پا از یکدیگر قراردهیم خواهیم توانست شعاع را باندازه انحناء یك جاده خیلی تیزخم کنیم . لیکن باید توجه داشت که چون فواصل عدسیها از یکدیگر خیلی کم است تعدادشان حدود ۱۰۰۰ عدد در هرمایل خواهد شد ودراینصورت ملاحظه میگردد که اگر اتلاف انرژی در عدسیها زیاد باشد قدرت تلف شده بمیزان زیادی افزایش مییابد . عدسیهای ساخته شده از کوارتز بواسطه ناهمواری سطح وانعکاس اشعه در مرز بین کوارتز وهوا انرژی زیادی را تلف میکنند که ارزش سیستم ارتباطی را خیلی پائین میآورند .

درلابراتوار تلفن بل، **Berreman** وهمکارانش عدسی جدیدی بنام عدسی گازی ساخته‌اند که دیگر در آن مشکل فوق وجود ندارد . روش عمل بقرارزیر است : گازی مثلا اکسیددو کربن را از لوله نسبتاً داغی عبور میدهند . میدانیم که سرعت گاز درمرکز لوله بیشتر از اطراف آن میباشد ودرنتیجه سردتر از مولکولهای جانبی میگردد (ش۸) درنتیجه این اختلاف درجه حرارت دانسیته درمرکز بیشترشده و مجموعه مذکور چون یك عدسی عمل خواهد کرد. مزیت بزرگ این عدسی در اینستکه سطحی وجود ندارد تا اشعه را منعکس کند وازاین بابت اتلاف انرژی نخواهیم داشت. تنها اتلاف انرژی موجود مربوط به تفرق نور براثر برخورد با مولکولهای گاز است که مقدار آن نیز خیلی کم میباشد. ضمناً متذکر میشویم که در عدسی مزبور بواسطه سرعت کم گاز (۵ میل در ساعت) اغتشاش نخواهیم داشت . البته در عمل اشکالات گوناگونی پدید میآید که باید آنهارا حل نمود .

یکی دیگر ازمؤلفه‌های اساسی یك سیستم ارتباطی با مسافات دور مدولاتور است . برای مدوله کردن نور خروجی یك لیزراامواج نورانی باید بتوانندباند وسیعی از امواج رادیوئی را (که از امواج رادیو و تلویزیون وتلفن و .... تشکیل شده) تحمل کنند . مدولاتورهای نورانی که تاکنون ساخته شده براساس



شکل ۹ - روش مدولاسیون بوسیله کریستال K D P نشان داده شده است.

تغییر ضریب انکسار تعدادی ازمواد در مقابل علامت رادیوئی موجود میباشند . دریکی ازاین وسائل اشعه خروجی لیزر از استوانه جامدی که از پتاسیم دی هیدروژن‌فسفات K DP میباشدودریك‌میدان‌الکتریکی متناسب با علامت موج مدوله کننده قرار گرفته عبور میکند ضریب شکست استوانه در طول محور قائم با ضریب شکست آن‌درطول‌محور افقی متناسب بامیدان الکتریکی‌وارده متفاوت‌است.در نتیجه‌شعاع‌لیزری که ازسردیگراستوانه خارج‌میگرددنسبت به‌پلاریزاسیون موج ورودی‌دارای پلاریزاسیون قائم است . باضافه، دامنه‌موج‌خروجی‌مدولاتورنسبت به‌قدرت‌الکتریکی وارده متفاوت میباشد .

مدولاتورهائی از نوع مدولاتور فوق دارای راندمان خیلی کمی میباشند ولی تحقیقاتی صورت میگیرد که‌مدولاتورهائی ازنوع‌نیمه‌هادی ساخته‌شود که اشکال فوق را نداشته باشد .

تحقیقات‌زیادی‌نیز برای‌ساختن دتکتورصورت میگیرد . ازجمله وسایلی که برای دتکته کردن‌اشعه لیزر بکار میروند میتوان لامپهای فوتومالتیپلایر (Photomultiplier) را نام‌برد. این‌لامپ‌دارای کاتدی‌است که دراثر برخورد نور با آن‌وکاملامتناسب با نور الکترون‌صادر میکند وسپس درداخل لامپ با روش خاصی تقویت میگردد و در نتیجه موج وارده دتکته‌وتقویت میشود.این لامپ در مورد امواج‌مرئی نور خوب است لیکن در فرکانسهای مادرون قرمز راندمانش کم میگردد . دتکتور دیگری از اتصالات نیمه هادیهاساخته شده که‌آن‌نیز متناسب بانور وارده ازخودجریان میفرستدوعمل دتکته کردن را بخوبی انجام میدهد .

قسمت اعظم تحقیقاتی که در مورد دتکتور و مودولاتور وحتی خود لیزر صورت میگیرد برای یافتن موارد بهتر وجدیدتر میباشد . شیمیدانها ، فیزیکدانها،فلزشناسهاو ..... مشغول یافتن راهی برای‌درك‌بهتر‌رفتارمواد گوناگون‌میباشندومیخواهند مواد بسیارخالصی‌تهیه کنند که بتوان‌آنها را کنترول نمود ومحنی‌های ناخالصی آنها را بدقت بسیار رسم کرد تا کریستالهای کاملا معینی بدست‌آید . قبل از بوجودآمدن‌لیزر مطالعات زیادی درمورد این‌مطالب انجام نمیشد لیکن پس از بوجود آمدن لیزر علاوه براینکه وسیله مزبوراحتیاجات گوناگونی داشت که میبایست رفع گردد خاصیت تکرنگی‌آن مطالعات اسپکتروسکوپی را برای درك وتعیین سطوح انرژی

اجسام مختلف امکان پذیر ساخت .

باوجود مزایای بسیار زیادی که سیستم مخابره از دور لیزر دارد لیکن هنوز از نظر اقتصادی نمیتواند باسیستم‌های فعلی قابل قیاس باشد. فقط باین علت که مخابره در ناحیه مرئی نور ممکن شده لیزر بکار نخواهد رفت . زیرا ترکیبی از کابلهای متحدالمحور مایکروویو و سیستم هدایت موج **Waveguide** میتوانند عمل یك کانال با باند بسیار وسیع را انجام دهند . سیستمهای موجود کنونی هنوز سالها میتوانند جوابگوی احتیاجات مخابراتی ما باشند و در ضمن بواسطه اینکه در قسمتهای مختلفی مخابرات انجام میگیرد اگر حادثه‌ای پیش آید فقط یك سلسله از مخابرات قطع میگردند در حالیکه در مورد سیستم مخابراتی لیزر وضع چنین نیست ودر صورت رخ‌دادن واقعه‌ای همه اطلاعات از بین میروند . وبعلاوه هر سیستمی برای اینکه جایگزین سیستم قبلی شود باید از آن ارزانتر باشد درحالیکه ملاحظه میگردد که چنین نیست و بخصوص فعلا که سیستم‌های کنونی از صورت لامپی به صورت نیمه هادی در آمده‌اند نمیتوان امیدوار بود که تا چند سال دیگر لیزر بتواند در قسمتهای عملی سیستم‌های فعلی فعالیت چندانی داشته باشد .

لیزرهای نیمه‌هادی نیز امروزه ساخته شده‌اند ودر نتیجه انقلاب فیزیك حالت جامد در مورد لیزر نیز انجام گردیده‌است . لیکن هنوز خلوص اشعه آن به‌خلوص اشعه لیزر گازی نمیرسد ولی میتوان پیش‌بینی نمود که در آینده پیشرفتهای مؤثری در این زمینه صورت گیرد. همیشه تمایل سیستمهای مخابراتی الکتریکی بسوی سیستمهای با باند وسیعتر و فرکانس بیشتر بوده است زیرا یك سیستم مخابراتی با باند وسیع از نظر اقتصادی از چند سیستم مخابراتی با باند باریك مناسبتر است . باید امیدوار بود که در آینده لیزر بتواند نقش مهمی را در سیستمهای مخابراتی داشته باشد .