



دانشکده فیزیک

گروه اتمی و مولکولی

پایان نامه دفاع از کارشناسی ارشد رشته فیزیک لیزر

عنوان

تعیین تجربی تابع تغییرات عدسی گرمایی و انحنای سطوح
انتهایی وابسته به توان دمشی در یک میله لیزری نئودیمیوم

یاگ (Nd:YAG) از نوع تپی و تحت دمش عرضی

استاد راهنما

دکتر ابراهیم صفری

استاد مشاور

دکتر فرشته حاجی اسماعیل بیگی

پژوهشگر

معصومه غفاری حدیقه

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

نام خانوادگی دانشجو : غفاری حدیقه	نام : معصومه
<p>عنوان پایان نامه : تعیین تجربی تابع تغییرات عدسی گرمایی و انحنای سطوح انتهایی وابسته به توان دمشی در یک میله لیزری نئودیمیوم یاگ (Nd:YAG) از نوع تپی و تحت دمش عرضی</p>	
<p>استاد راهنما : دکتر ابراهیم صفری</p> <p>استاد مشاور : دکتر فرشته حاجی اسماعیل بیگی</p>	
<p>مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد رشته : فیزیک گرایش : اتمی - مولکولی، لیزر دانشگاه : تبریز</p> <p>دانشکده : دانشکده فیزیک تاریخ فارغ التحصیلی : بهمن ۸۷ تعداد صفحات : ۱۰۲</p>	
<p>کلید واژه : اثر حرارتی، لیزر حالت جامد، عدسی گرمایی، اثر انتهایی، نئودیمیوم یاگ ، تداخل سنجی</p>	
<p>چکیده :</p> <p>ابیراهی های ناشی از حضور گرمای قابل توجه در مواد لیزری حالت جامد، نظیر میله های تقویت کننده، به سه طریق دیده می شوند. اولین ابیراهی، تغییرات ضریب شکست با دما است که در یاگ این نسبت مثبت است و با افزایش دما ضریب شکست افزایش می یابد. چون دمای میله یاگ تابعیت شعاعی دارد، بنابراین ضریب شکست نیز تابع فاصله از محور میله خواهد بود. دومین ابیراهی به خاطر تنش ها و کشش هایی است که در مواد لیزری حالت جامد وجود دارد و به دلیل محدودیت ضرایب فتوالاستیک ، به وقوع می پیوندد. کشش ها و تنش ها نیز با فاصله شعاعی از محور میله لیزری تغییر می کنند و منجر به همان تغییرات در ضریب شکست می شوند. سومین ابیراهی ناشی از اثرات انتهایی است . در میله های با طول معین به خاطر انبساط های کششی که در میله لیزری اتفاق می افتد و متناسب با فاصله شعاعی است، سطوح انتهایی تغییر تحدب می دهند. این نتیجه اختلاف دما در مرکز و سطح میله می باشد. تمام این ابیراهی ها حداقل تابعیت درجه دوم شعاعی دارند و بنابراین میله لیزری به عنوان یک عدسی عمل می کند. با توجه به منشا حرارتی به آن عدسی گرمایی می گویند به عنوان نتیجه غیریکنواخت توزیع دمایی در داخل میله نئودیمیوم یاگ و عملکرد تپی لیزر مورد مطالعه تپی ، انتظار می رود وابستگی های مراتب بالا تر به r نیز وجود داشته باشد.</p>	

در این پایان نامه با استفاده از روش تداخل سنجی رابطه بین عدسی گرمایی و انحنای سطوح انتهایی با توان دمشی تعیین می‌شود. نتایج حاکی از آن است که میزان عدسی شدگی بلور لیزر رابطه عکس با توان دمشی دارد.

این پایان نامه در سه فصل تنظیم شده است. فصل اول به خلاصه‌ای از انواع لیزرها و مخصوصاً لیزرهای حالت جامد اختصاص داده شده است. در فصل دوم لیزر نئودیمیموم یاگ و آرایش‌های دمشی آن توضیح داده شده است. در این فصل معادلات حاکم بر آثار حرارتی بیان شده و همچنین روش‌های اندازه‌گیری میزان عدسی شدگی حرارتی در ادامه فصل ارائه می‌شود. فصل سوم شامل چیدمان‌های تجربی به کار رفته برای اندازه‌گیری عدسی گرمایی و تعیین میزان انحنای سطوح انتهایی می‌باشد. در انتهای این فصل نتایج و نمودارهای مربوط به داده‌های تجربی به دست آمده است.

۱	مقدمه
۶	فصل اول : لیزر و انواع آن
۸	۲-۱- خواص باریکه لیزر
۹	۳-۱- انواع لیزر
۱۲	۲-۳-۱- سیستم های لیزری با چگالی محیط فعال بالا
۱۴	۴-۱- لیزرهای حالت جامد
۲۳	۵-۱- انواع دمش
۲۳	۱-۵-۱- دمش نوری
۲۴	۶-۱- روش های انتقال نور دمشی
۲۸	۷-۱- دمش عرضی با لامپ
۳۱	۸-۱- لیزرهای بلوری میله ای شکل تحت دمش عرضی
۳۲	۱-۲- لیزر نئودیمیوم یاگ
۳۲	۱-۱-۲- ویژگی های فیزیکی
۳۴	۲-۱-۲- ویژگی های لیزر
۳۹	۳-۱-۲- بلورهای لیزری نئودیمیوم یاگ
۴۱	۴-۱-۲- گذارهای مختلف لیزری در نئودیمیوم یاگ
۴۳	۲-۲- اثرات حرارتی
۴۶	۱-۲-۲- توزیع حرارت در لیزرهای پیوسته کار
۴۷	۲-۲-۲- توزیع حرارت در لیزرهای تپی
۴۹	۳-۲-۲- فشار حرارتی
۵۲	۴-۲-۲- تغییرات ضریب شکست ناشی از اثرات حرارتی
۵۹	۳-۲- روشهای اندازه گیری اثرات حرارتی
۶۷	۲-۴-۱- انواع تداخل سنج ها
۶۷	۲-۴-۱-۱- تداخل سنج مایکلسون

فهرست مطالب

۶۹ ۲-۱-۴-۲- حلقه های نیوتون
۷۲ ۳-۱-۴-۲- تداخل سنج ماخ زندر
۷۷ ۵-۲- روش به کار رفته برای برازش داده های تجربی
۷۹ فصل ۳: نتایج و بحث
۸۰ ۳-۱-۱- نتایج تجربی برای اثرات انتهایی
۸۳ ۳-۲- روش و مواد به کار رفته برای اندازه گیری عدسی گرمایی
۸۶ ۳-۲-۱- نتایج مربوط به اندازه گیری عدسی گرمایی
۹۹ ۳-۳- نتیجه گیری
۱۰۱ فهرست منابع

- شکل (۱) - الگوی ساده ای از یک لیزر ۱
- شکل (۲) - توزیع لیزرها در طیف الکترومغناطیسی [۳] ۴
- شکل (۳) - نمودار تراز انرژی نمایش دهنده (الف) سیستم دو تراز (ب) جذب برانگیخته (ج) گسیل برانگیخته (د) گسیل خود به خودی. نقطه های سیاه نشان دهنده حالت انرژی اتم قبل از جذب یا گسیل است. ۷
- شکل (۴) - همدوسی ۹
- شکل (۵) - طرح کلی سیستم دمش نوری ۲۴
- شکل (۶) - (الف) دمش عرضی با لامپ آذرخش - (ب) دمش عرضی و اریب با لیزر دیودی - (ج) دمش طولی - (د) دمش سطحی با لامپ آذرخش یا لیزر دیودی ۲۶
- شکل (۷) - کاواک دمشی (الف) تک بیضی (ب) دو بیضی ۲۹
- شکل (۸) - کاواک دمشی غیر متمرکز کننده (الف) دایروی (ب) کاواک جفت شده تنها (ج) جفت شده بسته دو لامپی ۲۹
- شکل (۹) - کاواک انعکاسی نشری (الف) تیوب لامپ ماریپچ (ب) تیوب استوانه ای هم محور ۳۰
- شکل (۱۰) - تقویت توان خروجی با چندین میله در فاصله $L/2$ از یکدیگر ۳۱
- شکل (۱۱) - ترازهای انرژی در نئودیمیوم یاگ [۸] ۳۵
- شکل (۱۲) - طیف فلورسانسی یون نئودیمیوم موجود در یاگ و در ناحیه طول موجی $1,06 \mu\text{m}$ میکرومتر [۸] ۳۷
- شکل (۱۳) - طیف جذبی نئودیمیوم یاگ (الف) از $0,3$ تا $0,9$ میکرومتر. (ب) در حوالی 808 nm نانومتر [۸] ۳۸
- شکل (۱۴) - نمودار حرارتی میله لیزری وقتی بازه های دمشی بسیار نزدیک به زمان واهلش حرارتی می باشد. ۴۹
- شکل (۱۵) - حرارت تولید شده در بازه تپ بسیار کوچک تر از زمان واهلش حرارتی ۴۹
- شکل (۱۶) - المان حجمی ماده لیزری که در آن گرما تولید شده است. ۵۰
- شکل (۱۷) - توزیع فشار شعاعی، سمتی و طولی در یک میله ایده آل که به صورت همگن دمیده شده است [۲۱] ۵۱
- شکل (۱۸) - عدسی حرارتی ایجاد شده ناشی از اثر انتهایی ۵۵
- شکل (۱۹) - خلاصه ای از اثرات حرارتی ۵۸
- شکل (۲۰) ۶۰
- شکل (۲۱) ۶۰
- شکل (۲۲) ۶۱
- شکل (۲۳) - تداخل سنجی برشی سه نسخه ای ۶۴

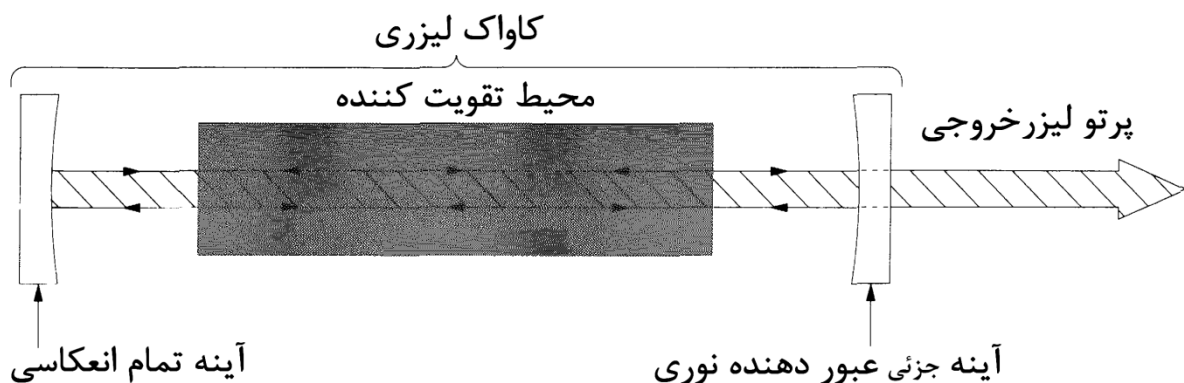
فهرست شکل ها

- شکل (۲۴) - چیدمان تداخل سنجی برشی سه نسخه ای ۶۴
- شکل (۲۵) - چیدمان حس گر جبهه موج شاک هارتمن ۶۵
- شکل (۲۶) - مقایسه روش های اندازه گیری اثرات حرارتی ۶۶
- شکل (۲۷) - تداخل سنج مایکلسون ۶۶
- شکل (۲۸) - چیدمانی برای مشاهده حلقه های نیوتن ۷۰
- شکل (۲۹) - هندسه حلقه های نیوتن ۷۱
- شکل (۳۰) - تداخل سنج ماخ زندر ۷۲
- شکل (۳۱) ۷۶
- شکل (۳۲) - چیدمان تداخل سنج ماخ زندر برای اندازه گیری ضریب شکست ۷۷
- شکل (۳۳) - آرایش مایکلسون برای اندازه گیری اثرات انتهایی ۸۰
- شکل (۳۴) - نمودار تغییر شعاع انحنای سطوح انتهایی با ولتاژ در فرکانس های مختلف ۸۲
- شکل (۳۵) - نمودار تغییر فاصله کانونی ایجاد شده از اثر انتهایی با ولتاژ در فرکانس های مختلف ۸۲
- شکل (۳۶) - آرایش ماخ زندر برای اندازه گیری عدسی گرمایی ۸۴
- شکل (۳۷) - تغییرات ضریب شکست با ولتاژ در مرکز میله ۸۹
- شکل (۳۸) - تغییرات ضریب شکست با فرکانس در مرکز میله ۸۹
- شکل (۳۹) - تغییرات ضریب شکست با ولتاژ در $f_0/2$ ۹۱
- شکل (۴۰) - تغییرات ضریب شکست با فرکانس در $f_0/2$ ۹۱
- شکل (۴۱) - طرح تداخلی مربوط به الف) قبل از دمش، ب) لحظه دمش، ج) ثانیه ۰/۴۸، د) ثانیه ۱/۲، ه) ثانیه ۲، و) ثانیه ۲/۸، خ) ثانیه ۹/۸۴ دمش ۹۲
- شکل (۴۲) - تغییرات ضریب شکست با ولتاژ در فاصله های شعاعی متفاوت در یک فرکانس ۹۴
- شکل (۴۳) - تغییرات ضریب شکست با فرکانس در فاصله های شعاعی متفاوت و در ولتاژ یکسان ۹۴
- شکل (۴۴) - نمودار تغییرات فاصله کانونی بر حسب ولتاژ ورودی ۹۶
- شکل (۴۵) - نمودار تغییرات فاصله کانونی با فرکانس ۹۷
- شکل (۴۶) - نمودار تغییرات فاصله کانونی با ولتاژ و فرکانس ۹۹

مقدمه

لیزر^۱ نور تقویت شده‌ای است که از گسیل القایی نتیجه شده از تعادل ترمودینامیکی به دست می‌آید. تقویت نور تولید شده در فرآیند بازخورد نوری که معمولاً توسط آینه‌ها تأمین می‌شود، انجام می‌گیرد. در ساده‌ترین حالت، لیزر از یک محیط فعال که گسیل القایی در آن اتفاق می‌افتد و مجموعه‌ای از آینه‌ها برای بازخورد نور به داخل تقویت کننده تشکیل می‌شود (شکل (۱)).

وقتی خصوصیات لیزر را با منابع نوری دیگر مقایسه کنیم، مقادیر پارامترهای مختلف نور لیزر بسیار بزرگ‌تر یا محدودتر از منابع نوری معمولی است. لیزرها عموماً دارای توزیع فرکانس باریک، شدت بالا، واگرایی پرتو بسیار پایین یا طول تب بسیار کوتاهتر از منابع نوری معمولی هستند. به خاطر این خصوصیات، کاربردهای متنوعی دارند و در دستگاه‌های بارکد خوان یا به عنوان چاقوی جراحی، در مخابرات نوری و ارتباطات یا زمینه‌های نظامی به کار می‌روند [۱].



شکل (۱) - الگوی ساده ای از یک لیزر

¹ Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

چارلز تونز^۲ از مزیت فرآیند گسیل القایی برای تولید یک مشدد لیزری میکروویو که به آن میز^۳ می‌گویند، استفاده کرد. این وسیله پرتو میکروویو همدوسی را برای استفاده در ارتباطات تولید می‌کرد. اولین میز در بخار آمونیاک و توسط تجمع معکوس مابین دو تراز انرژی در طول موج ۱٫۲۵ سانتی‌متر تولید شد. طول موج میز قابل مقایسه با ابعاد وسیله تولید کننده بود در حالی که طول موج های نوری ۵ مرتبه‌ی مقداری کوچک‌تر می‌باشد. در سال ۱۹۵۸، تونز و شاولو^۴ مقاله‌ای را منتشر کرده و نظر خود را در مورد گسترش مفهوم میز به فرکانس‌های نوری بیان کردند و مفهوم مشدد نوری را که با آینه‌های کاواک مشدد احاطه شده است، برای تقویت پرتو نوری، توسعه دادند. در سال ۱۹۶۰، تئودور میمن^۵، اولین لیزر را که محیط فعال آن را بلور یاقوت تشکیل می‌داد، تولید کرد. منبع انرژی یک لامپ آذرخش بود که بلور میله‌ای شکل یاقوت را احاطه می‌کرد. آینه‌های کاواک نوری لایه‌هایی با بازتابندگی بالا بود که روی دو سطح انتهایی میله یاقوت لایه نشانی شده بودند. وقتی لامپ آذرخش شروع به کار می‌کرد، نور شدید قرمز رنگی از انتهای میله خارج می‌شد. اولین لیزر گازی در سال ۱۹۶۱ توسط علی جوان، بنت و هریوت^۶ با ترکیبی از گازهای هلیوم و نئون، ساخته شد. جانسون و ناسو^۷ نیز اولین لیزر نئودیمیوم را که هنوز هم جزء لیزرهای معتبر در دسترس می‌باشد، تولید کردند و در سال ۱۹۶۲ اولین لیزر نیمه هادی توسط هال^۸ نشان داده شد. در سال ۱۹۶۳ پاتل^۹ اولین لیزر مادون قرمز، لیزر دی‌اکسید کربن را کشف کرد که امروزه یکی از لیزرهای پر قدرت و با بازده بالا است. کمی بعد، در همان سال، بل^{۱۰} اولین لیزر یونی بخار جیوه را معرفی کرد. در سال ۱۹۶۴

^۲ Charles Townes

^۳ Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation

^۴ Townes and Schawlow

^۵ Theodore Maiman

^۶ A. Javan, W. Bennett, and D. Harriott

^۷ L. F. Johnson and K. Nassau

^۸ R. Hall

^۹ C. K. N. Patel

^{۱۰} E. Bell

بریج^{۱۱} لیزر یونی آرگون و دو سال بعد سیلوست و همکارانش^{۱۲} اولین لیزر بخار فلزی ، لیزر هلیوم-کادمیوم را تولید کردند. در طی همان سال سوروکین و لانکارد^{۱۳} اولین لیزر مایع را با استفاده از رنگ های آلی حل شونده در حلالها توسعه دادند و بدین ترتیب به دسته جدیدی از لیزرهای کوک پذیر دست یافتند. همزمان والتر و همکارانش^{۱۴} اولین لیزر بخار مس را معرفی کرده و به طور جداگانه هادسون و واینانت^{۱۵} در سال ۱۹۷۰ اولین لیزر مولکولی هیدروژن را گزارش دادند. در سال ۱۹۷۵ اوینگ و برو^{۱۶} اولین لیزر مشهور اگزایمر هالید گازهای نادر را در گزنون فلوراید مشاهده کردند. در همان سال اولین لیزر چاه کوانتومی در نیمه هادی گالیوم آرسناید توسط ون در زیل و همکارانش^{۱۷} ساخته شد. میدی^{۱۸} و همکارانش نیز در سال ۱۹۷۶ اولین لیزر الکترون آزاد و در سال ۱۹۷۹ والینگ لیزری با کوک پذیری بالا را از ماده جامد لیزری الکساندریت تولید کردند. اولین لیزر اشعه ایکس در سال ۱۹۸۵ و لیزر تیتانیوم سفایر در سال ۱۹۸۶ کشف شدند. تا سال ۱۹۹۶ لیزرهای گوناگونی ساخته شده‌اند که مکانیزم آنها در فصل ۱ به طور مختصر شرح داده می‌شود. هنوز هم لیزر یکی از مباحث جدید علمی می‌باشد و کاربردهای فراوانی را در زمینه های گوناگون دارد. لیزرهایی که اکنون وجود دارند در محدوده مادون قرمز دور تا اشعه ایکس نرم گسترده شده‌اند. شکل (۲) توزیع لیزرها را در طیف الکترومغناطیسی نشان می‌دهد.

¹¹ W. Bridges

¹² Fowles, and B. D. Hopkins W. Silfvast, G. R

¹³ P. P. Sorokin and J. R. Lankard

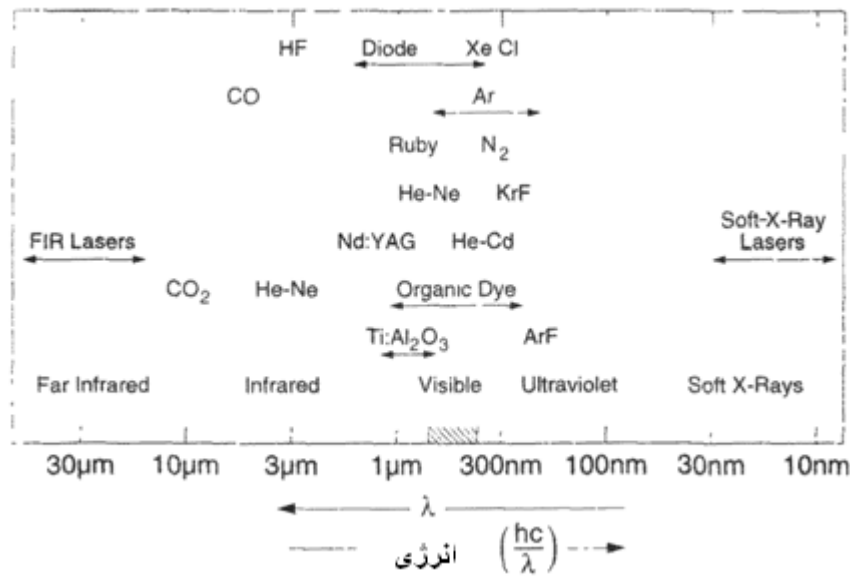
¹⁴ W. Walter

¹⁵ R. Hodgson and R. Waynant

¹⁶ J. J. Ewing and C. Brau

¹⁷ J. van der Ziel

¹⁸ J. M. J. Madey



شکل (۲) - توزیع لیزرها در طیف الکترومغناطیسی [۳]

همانطور که مشاهده شد لیزرها انواع مختلفی دارند که براساس جنس ماده فعال به کار رفته در آنها به ۵ رده لیزرهای گازی، لیزرهای آلانئیده شده با عایق، لیزرهای نیمه رسانا، لیزرهای مایع رنگی و لیزرهای الکترون آزاد تقسیم می‌شوند [۳]. لیزرهای حالت جامد زیر مجموعه‌ای از لیزرهای آلانئیده شده با عایق می‌باشند. محیط فعال این لیزرها از مواد جامد بلوری یا غیر بلوری تشکیل می‌شود و به شکل میله‌ای (در دو سطح مقطع دایروی و مربعی یا مستطیلی)، بره‌ای و دیسکی است. دمش این لیزرها معمولاً به صورت نوری و به دو روش طولی و عرضی انجام می‌گیرد. در میله‌های تقویت کننده ابیراهی‌های ناشی از حضور گرمای قابل توجه در مواد لیزری حالت جامد به سه طریق دیده می‌شود. اولین ابیراهی تغییرات ضریب شکست با دما است که در یاگ این نسبت مثبت است یعنی با افزایش دما ضریب شکست افزایش می‌یابد. چون دمای میله یاگ تابعیت شعاعی دارد بنابراین این ضریب شکست نیز تابع فاصله از محور میله خواهد بود. دومین ابیراهی به خاطر تنش‌ها و کشش‌هایی است که در مواد لیزری حالت جامد اتفاق می‌افتد که به دلیل وجود ضرایب فتوالاستیک محدود، به وقوع می‌پیوندد. کشش‌ها و تنش‌ها نیز با شعاع میله لیزری تغییر می‌کنند و

منجر به تغییرات ضریب شکست می‌شوند. سومین ابیراهی ناشی از اثرات انتهایی است. در میله‌های محدود به خاطر جابجایی‌های کششی که در میله لیزری اتفاق می‌افتد و متناسب با فاصله از محور نوری کاواک است، سطوح انتهایی تغییر تحدب می‌دهند [۲]. زیرا دما در مرکز میله با لبه‌های آن متفاوت است. تمام این ابیراهی‌ها حداقل تابعیت درجه دوم شعاعی دارند و بنابراین میله لیزری به عنوان یک عدسی عمل می‌کند که با توجه به منشا حرارتی به آن عدسی گرمایی می‌گویند. انتظار می‌رود به دلیل اینکه عملاً توزیع دمایی در داخل میله نئودیمیوم یاگ یکنواخت نیست و عملکرد لیزر مورد مطالعه تپی است، وابستگی‌های مراتب بالاتر به فاصله شعاعی نیز وجود داشته باشد. در این پروژه با استفاده از روش تداخل سنجی رابطه ابیراهی-های مراتب بالاتر با توان دمشی به صورت تجربی تعیین می‌شود. آرایش تجربی مورد نظر برای مطالعه عدسی گرمایی و انحنای سطوح انتهایی آرایش ماخ زندر و مایکلسون است.

فصل اول : لیزر و انواع آن

همانطور که در مقدمه نیز اشاره شد، لیزرها به عنوان منابع نوری به کار می‌روند که به دلیل داشتن بعضی ویژگی‌های خاص با منابع نوری معمولی تفاوت دارند. قبل از بیان این ویژگی‌ها ابتدا به تعریف چند پدیده می‌پردازیم که لیزر زایی بر اساس آن‌ها صورت می‌گیرد. در اندرکنش نور با ماده با سه پدیده مهم سرو کار داریم.

الف) جذب

ب) گسیل خود به خودی

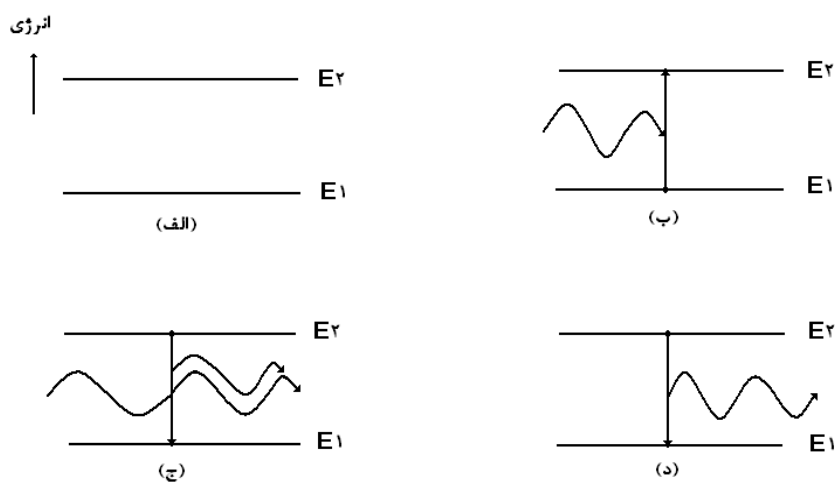
ج) گسیل القایی

اتمی را در نظر می‌گیریم که فقط دارای ۲ تراز انرژی باشد. تراز بالایی را E_2 و تراز پایینی را E_1 می‌نامیم (شکل (۳)). در شرایط عادی اتم در تراز پایین قرار می‌گیرد، چرا که سیستم‌های فیزیکی تمایل دارند در کمینه حالت انرژی خود قرار گیرند. فرض کنیم که اتم در تراز پایین تحت تأثیر تابش با فرکانس ν_{21} قرار گیرد به طوری که ν_{21} از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad (1)$$

فصل اول : لیزر و انواع آن

احتمال زیادی وجود دارد که اتم با جذب این فوتون تحریک شود و به تراز بالاتر E_2 برود. این فرایند به جذب برانگیخته موسوم است. اتم بلافاصله بعد از تحریک شدن به تراز بالاتر انرژی، با گسیل فوتونی با انرژی $h\nu_{21} = E_2 - E_1$ به تراز پایین باز می‌گردد. در سال ۱۹۱۷ اینشتین نشان داد که فرایند گسیل به دو طریق کاملاً مجزا می‌تواند انجام شود. مانند فرآیند جذب، فرآیند گسیل می‌تواند به صورت القایی (تحریکی) و یا به صورت خود به خودی انجام شود. دو نکته بسیار مهم در ارتباط با گسیل تحریکی وجود دارد که خواص نور لیزر به آن‌ها وابسته است. اول آنکه فوتونی که با گسیل القایی ایجاد می‌شود دارای همان انرژی فوتون تحریک کننده است و بنابراین امواج ایجاد شده دارای همان فرکانس هستند. دوم آنکه امواج نوری مربوط به دو فوتون ایجاد شده، هم فاز و همچنین دارای قطبش مشابه می‌باشند. بدین معنی که در اتمی که به صورت تحریکی مجبور به تابش نوری شود موجی که باعث این فرایند شده است، به فوتون تحریکی اضافه می‌شود به طوری که همدیگر را تقویت می‌کنند و دامنه آن‌ها افزایش می‌یابد. پس ما امکان تقویت نور به وسیله گسیل های تحریکی تابش را خواهیم داشت.



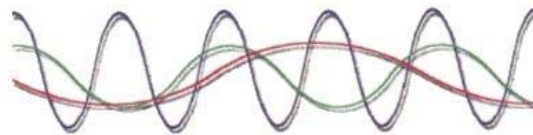
شکل (۳) - نمودار تراز انرژی نمایش دهنده (الف) سیستم دو تراز (ب) جذب برانگیخته (ج) گسیل برانگیخته (د) گسیل خود به خودی. نقطه های سیاه نشان دهنده حالت انرژی اتم قبل از جذب یا گسیل است.

۱-۲- خواص باریکه لیزر

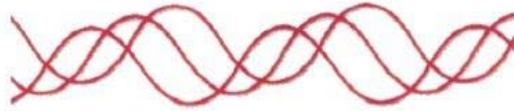
ویژگی‌های تابش لیزر درجه بسیار بالای تک‌رنگی، همدوسی، جهت‌مندی و درخشایی است. در کاواک لیزر فقط موج الکترومغناطیسی با فرکانس $\nu = (E_2 - E_1)/h$ می‌تواند تقویت شود. چون آرایش دو آینه‌ای به تشکیل کاواک تشدیدی منجر می‌شود، نوسان تنها در فرکانس‌های تشدید این کاواک انجام می‌گیرد و باعث پهن شدگی خط لیزری می‌شود که غالباً از پهنای خط معمولی گذار از تراز دوم به تراز اول که در گسیل خود به خودی مشاهده می‌شود خیلی باریک‌تر (به میزان ۶ مرتبه بزرگی) است و این به معنای تک‌رنگی لیزر می‌باشد.

یکی از مشخصات گسیل‌های تحریکی این است که امواج برانگیخته با موج برانگیزنده در یک فاز قرار دارند، یعنی تغییرات زمانی و فضایی میدان الکتریکی دو موج باهم یکسان هستند. اگر میدان الکتریکی دو نقطه از جبهه موج در یک زمان معین با هم رابطه فازی داشته باشند، چنین پرتویی همدوسی فضایی دارد. همدوسی زمانی نیز به این مفهوم است که میدان الکتریکی یک نقطه از جبهه موج، در دو زمان متفاوت، رابطه فازی داشته باشد (شکل (۴)).

بنا به تعریف، درخشایی یک چشمه امواج الکترومغناطیسی عبارت است از توان گسیل شده از واحد سطح چشمه در واحد زاویه فضایی. درخشایی پرتو لیزر، حتی با قدرت کم (مثلاً، چند میلی وات)، چندین مرتبه بزرگی از درخشایی درخشان‌ترین چشمه‌های معمولی بیشتر است و این به دلیل خواص جهت‌مندی (واگرایی کم یا همدوسی فضایی بالا در فواصل طولانی) فوق‌العاده بالای باریکه لیزر است [۱].



نور خورشید (تشکیل شده از تعداد زیادی رنگ)



نور تک‌رنگ غیر هم فاز (غیر همدوس)



نور تک‌رنگ هم فاز لیزر (همدوس)

شکل (۴) - همدوسی

۱-۳- انواع لیزر

در قلب هر لیزر ماده فعال وجود دارد که بهره نوری را در یک ناحیه باریکی از طول موج‌ها به دست می‌دهد و در حقیقت بر اساس ماده فعال به کار رفته در لیزر نامگذاری می‌شوند. از زمانی که اولین لیزر در سال ۱۹۶۰ با استفاده از کریستال صورتی یا قوت ساخته شد، تعداد و انواع مواد مورد استفاده به عنوان ماده فعال لیزری افزایش یافته است. راحت تر است که لیزرها را به چهار نوع اصلی بسته به طبیعت فیزیکی ماده فعال آن‌ها تقسیم کرد. این چهار گروه عبارتند از: لیزرهای آلانئید شده با عایق، لیزرهای نیمه هادی، لیزرهای گازی و لیزرهای رنگ. ولی در یک تقسیم بندی دیگر می‌توان لیزرها را به دو گروه با چگالی محیط فعال بالا و پایین تقسیم کرد.

۱-۳-۱- سیستم‌های لیزری با چگالی محیط فعال پایین

محیط‌های فعال گازی تقریباً در نیمی از لیزرهای تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. ولی در آینده نزدیک به خاطر فشرده بودن و قابل اعتماد بودن لیزرهای حالت جامد، پیش‌بینی می‌شود که این نسبت کاهش بیابد. هرچند بسیاری از کاربردهای لیزرهای گازی بدون هیچ شکلی برای مدت‌های طولانی ادامه خواهد داشت زیرا برای لیزرهایی با طول موج بسیار کوتاه، محیط گازی یا پلاسما به عنوان محیطی برتر مطرح می‌شود.

لیزرهای گاز اتمی :

محیط فعال این لیزرها از یون‌هایی با حالت یونیزاسیون پایین تشکیل می‌شود و به طور بنیادی طول موج های لیزری گسسته باریکی در محدوده طول موجی ۲۰۰ نانومتر تا ۵ میکرومتر را شامل می‌شود. همچنین طول موج های موجود تمامی ناحیه طیفی گفته شده را پوشش نمی‌دهند. اما این گروه از لیزرها دارای گذارهای مجزای لیزری بیشتری در ناحیه مرئی نسبت به سایر لیزرها می‌باشند. تحریک این لیزرها معمولاً توسط اعمال ولتاژی به دو سر الکترودهای محفظه‌ای که نوع گاز اتمی مورد نظر را در بر گرفته است، انجام می‌شود. فشار گاز موجود در محفظه بسیار پایین و در حدود ۱/۱۰۰۰ تا ۱/۱۰۰ اتمسفر می‌باشد. نمونه‌ای از این لیزرها، لیزر هلیوم-نئون، یون آرگون و هلیوم-کادمیوم است که سیستم لیزرزیایی آن-ها پیوسته می‌باشد و کیفیت مد TEM_{00} آن‌ها به خاطر باریک بودن ناحیه بهره پایدار این لیزرها، بالا است. در حالی که لیزر بخار مس در سیستم تپی کار می‌کند و توان خروجی متوسط بالایی دارد [۳].

لیزرهای گاز مولکولی :

لیزرهای گاز مولکولی به دو دسته مادون قرمز متوسط و مادون قرمز دور تقسیم می‌شوند که به ترتیب در ترازهای چرخشی- ارتعاشی و گذارهای چرخشی خالص اتفاق می‌افتند. همچنین لیزرهایی وجود دارند که از گذارهای الکترونی مابین مولکول‌ها ایجاد می‌شوند مانند لیزر نیتروژن و لیزرهای اگزایمر. لیزر دی اکسید کربن در گذارهای چرخشی- ارتعاشی کار می‌کند و احتمالاً از مشهورترین لیزرهای گاز مولکولی است. این لیزر می‌تواند در فشارهای بسیار بالا نیز کار کند زیرا انرژی ترازهای بالای لیزری در مقایسه با لیزرهای گاز اتمی بسیار نزدیک‌تر به تراز زمینه مولکول دی اکسید کربن می‌باشد و بنابراین دمای الکترون‌ها می‌تواند بسیار پایین باشد و در نتیجه امکان عملکرد لیزر در فشارهای بالا وجود خواهد داشت. فشار بالا یعنی تجمع معکوس بیشتر در تراز بالای لیزری که منجر به توان خروجی بزرگتر در واحد حجم محیط فعال می‌شود. دسته مهم دیگری از این لیزرها شامل گذارهای الکترونی مابین مولکول‌ها است که در ناحیه ماوراء بنفش کار می‌کنند. طول عمر تابشی ترازهای بالای لیزری بسیار کوتاه و در مرتبه ۱-۵ نانو ثانیه می‌باشد. فرایند تحریک باید بسیار سریع باشد تا بتواند جمعیت معکوس کافی برای لیزرزیایی را ایجاد کند. در نتیجه خروجی این لیزرها دارای تپ‌های بسیار کوتاه و در حدود چند نانو ثانیه تا چند ده نانو ثانیه می‌باشد. نمونه‌ای از لیزرهای گاز مولکولی شامل لیزرهای دی اکسید کربن، اگزایمر، نیتروژن، لیزرهای گازی مادون قرمز دور و لیزرهای شیمیایی است [۳].

لیزرهای پلاسمای اشعه ایکس :

لیزرهای اشعه ایکس لیزرهایی هستند که محدوده طول موجی گسسته ۳,۵۶ تا ۴۶,۹ نانومتر را پوشش می‌دهند. به دلیل تپ‌های بسیار کوتاه و پر انرژی که برای فرایند تحریک مورد نیاز است، ایجاد

جمعیت معکوس توسط تحریک با لیزرهای سریع دیگر با لامپ‌های تخلیه الکتریکی سریع انجام می‌شود. معمولاً چنین لیزرهایی تجهیزات زیادی را شامل می‌شوند و به راحتی قابل انتقال نیستند. تنها مورد استثناء لیزر آرگون است که با تخلیه الکتریکی دمش می‌شود و در طول موج ۴۶,۹ نانومتر کار می‌کند. به دلیل اندازه و قیمت بالای چنین لیزرهایی هنوز امکان کاربردهای تجاری آن‌ها وجود ندارد [۳].

لیزر الکترون آزاد :

به صورت قراردادی لیزر از ایجاد جمعیت معکوس مابین ترازهای انرژی مقید و گسسته یک ماده ایجاد می‌شود اما لیزر الکترون آزاد شامل الکترون‌های نوسان کننده در خلأ می‌باشد و هیچ محیط مادی بهره‌ای به غیر از خود الکترون‌ها وجود ندارد. در حین نوسان الکترون‌ها از طریق تابش دو قطبی عمود بر جهت نوسان الکترون‌ها تابش می‌کنند. در این حالت می‌توان گفت که الکترون‌ها مابین ترازهای پیوسته به جای ترازهای گسسته گذار می‌کنند. لیزر الکترون آزاد محدوده طول موجی ۲۴۸ نانومتر تا ۸ میلی‌متر را پوشش می‌دهد و می‌تواند توانی در حدود ۱ گیگاوات در تپی با طول ۶۰ نانو ثانیه در طول موج ۸ میلی‌متر داشته باشد [۳].

۱-۳-۲- سیستم‌های لیزری با چگالی محیط فعال بالا

بر خلاف حالت قبل در این دسته از لیزرها چگالی محیط فعال بالا می‌باشد. بنابراین شامل مواد چگال‌تری مانند مواد آلی رنگی، مواد آلاییده شده با عایق و مواد نیمه رسانا است. نمونه‌ای از آن‌ها لیزرهای رنگی، لیزرهای حالت جامد (مانند لیزر یاقوت، نئودیمیوم یاگ، الکساندریت و...) و لیزرهای نیمه رسانا