

سورة الاحقاف



دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک
گرایش اتمی و مولکولی

طراحی و برپائی لیزر نئودیم-یاگ و تولید پرتوی بسل

استادان راهنما

دکتر محمود سلطان الکتابی

دکتر حمیدرضا فلاح

استاد مشاور

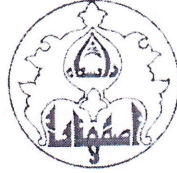
مهندس محسن رضانی

پژوهشگر

شهرزاد پارسا

مهر ماه ۱۳۸۹

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات
و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه اصفهان است.



دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی و مولکولی
خانم شهرزاد پارسا تحت عنوان

طراحی و برپائی لیزر نئودیم-یاگ و تولید پرتوی بسل

در تاریخ ۸۹/۷/۲۸ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

امضا

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر سلطان الکتابی با مرتبه‌ی علمی استاد

امضا

۲- استاد راهنمای پایان نامه دکتر حمیدرضا فلاح با مرتبه‌ی علمی دانشیار

امضا

۳- استاد داور داخل گروه دکتر علیرضا خرسندی با مرتبه‌ی علمی استادیار

امضا

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر محمود حسینی فرزاد با مرتبه‌ی علمی استادیار

امضای مدیر گروه

سپاس و ستایش پروردگارم را که پرورشش و بخشایشگر است. آن یزدان پاک که بر من زندگانی بخشید و بر من توانایی لذت بردن از زیبایی‌های زندگی هدیه کرد. سپاسگزارم از ستارگان آسمان زندگانیم، پدر و مادر مهربانم و برادر نازنینم که حضور پرمهرشان در تمامی مراحل زندگی دلگرمی و پشتوانه‌ی راهم است. سپاسگزارم از آموزگاران بزرگوایم دکتر سلطان‌الکتابی، دکتر فلاح و مهندس رضانی. اندرزها و تشویق‌های ایشان بود که مسیری را که نخست تیره و ناهموار می‌نمود، روشن و هموار ساخت. صادقانه و صمیمانه سپاسگزارم از ایشان بابت اعتمادی که در این مدت بر من داشتند و بابت آن‌چه به من آموختند. سپاسگزارم از مهندسین محترم صنایع الکترواپتیک اصفهان بابت کمک‌های فراوان و بی‌دریغشان در نیل به اهداف این پایان‌نامه.

شهرزاد پارسا

مهر ماه ۸۹

تقدیم به باارزش ترین دارائی های زندگانیم
پدر و مادر مهربانم و برادر نازنینم

چکیده

در این پژوهش نخست به بررسی میدان‌های غیرپراشی به ویژه میدان‌های بسل، از دیدگاه نظری پرداخته‌ایم. پس از آن میدان‌های بسل-گوس را به عنوان نمونه‌های آزمایشگاهی این دسته پرتوها معرفی و چگونگی تشکیل، ویژگی‌ها و رفتار آن‌ها را ضمن انتشار به صورت نظری بررسی کرده‌ایم. از میان سازه‌های مناسب برای تولید میدان‌های بسل-گوس، با انتخاب اکسیکون‌ها این دسته پرتوها را با استفاده از دو روش ناکنا و کنا، برای نخستین بار در ایران، استخراج کرده‌ایم.

برای تولید ناکنای میدان‌های شبه غیرپراشی بسل-گوس به صورت تپی در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر، یک لیزر نئودیم-یاگ مناسب را طراحی و برپا کردیم و ویژگی‌های پرتوی خروجی را اندازه‌گیری کردیم. پس از آن با طراحی و انتخاب اکسیکون مناسب برای تولید ناکنای این دسته میدان‌ها و هم‌راستا کردن این سازه‌ها با خروجی لیزر، میدان‌های بسل-گوس را استخراج کردیم. با توجه به امکانات و همچنین زمان محدودی که برای ارائه‌ی این پژوهش در اختیار داشتیم، توانستیم برخی ویژگی‌های میدان تولید شده را اندازه‌گیری کنیم. همچنین در ادامه موفق شدیم تاثیر تغییرات شرایط آزمایش مانند تغییر پهنای لکه‌ی لیزری بر روی اکسیکون و نیز تغییر زاویه‌ی راس اکسیکون را بر ویژگی‌های میدان بسل-گوس خروجی دنبال کنیم.

برای تولید کنای میدان‌های بسل-گوس، یک بازآواگر اکسیکون پایه را طراحی و ویژگی‌های مدهای نوسان‌کننده درون آن را به صورت نظری تحلیل کردیم. پس از آن با برپا کردن این بازآواگر در آزمایشگاه موفق شدیم میدان‌های شبه غیرپراشی بسل-گوس را برای نخستین بار در ایران با استفاده از روش کنا استخراج کنیم.

کلید واژه‌ها: میدان غیر پراشی بسل، میدان شبه غیرپراشی بسل-گوس، اکسیکون، مخروط برهم‌نهنشی، روش کنا، روش ناکنا، برد ریلی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول : انتشار پرتو درون بازآواگر لیزری	
۱-۱- پیش درآمد	۱
۲-۱- انتشار پرتو درون بازآواگر لیزری	۳
۳-۱- بسامدهای بازآواگری	۸
۴-۱- بازآواگر لیزری با در نظر گرفتن محیط فعال لیزری	۹
۵-۱- فرآیند تقویت فوتون در داخل بازآواگر و محاسبه‌ی توان خروجی یک بازآواگر خطی	۱۱
فصل دوم : پرتوهای غیرپراشی	
۱-۲- پیش درآمد	۱۵
۲-۲- مفهوم ریاضی پرتوهای غیرپراشی	۲۰
۱-۲-۲- پاسخ‌ها در دستگاه مختصات استوانه‌ای دایره‌ای	۲۱
۳-۲- پرتوهای غیرپراشی	۲۴
۱-۳-۲- پرتوهای بسل	۲۴
۴-۲- ویژگی‌های میدان‌های ناپراشی	۲۷
۱-۴-۲- خودترمیم‌کنندگی	۲۷
۵-۲- توصیف میدان‌های ناپراشی با کمک رهیافت برداری	۳۱
۶-۲- پرتوهای شبه غیرپراشی	۳۷
۱-۶-۲- پیش درآمد	۳۷
۲-۶-۲- میدان‌های بسل-گوس	۳۸
۳-۶-۲- بررسی رفتار پرتو ضمن انتشار	۴۰
۴-۶-۲- ویژگی‌های میدان‌های بسل-گوس	۴۸
۵-۶-۲- روش‌های تولید میدان‌های بسل-گوس	۵۰
۱-۵-۶-۲- پیش درآمد	۵۰
۲-۵-۶-۲- شکاف حلقوی به همراه عدسی همگرا	۵۱
۳-۵-۶-۲- اکسیکون	۵۴
۱-۳-۵-۶-۲- تولید پرتوهای ناپراشی با استفاده از اکسیکون	۵۷
۶-۶-۲- مرتبه‌های بالاتر پرتوی بسل-گوس	۶۰

فصل سوم: طراحی و برپائی بازآواگر خطی نئودیم-یاگ هوا خنک

- ۱-۳- پیش‌درآمد ۶۳
- ۲-۳- شبیه سازی محیط فعال لیزری با عدسی ضخیم ۶۵
- ۳-۳- طراحی بازآواگر خطی با در نظر داشتن اثرات حرارتی محیط فعال لیزری ۶۷
- ۴-۳- برپائی آزمایشگاهی بازآواگر خطی ۷۳
- ۵-۳- اندازه‌گیری زاویه‌ی واگرائی پرتوی لیزر ۷۶
- ۶-۳- اندازه‌گیری سازه‌ی انتشار پرتو ۷۸

فصل چهارم: تولید ناکنای پرتوهای شبه غیرپراشی بسل-گاوس با استفاده از اکسیکون

- ۱-۴- پیش‌درآمد ۸۱
- ۲-۴- برپائی تجربی تولید ناکنای میدانهای بسل-گاوس ۸۲
- ۳-۴- اندازه‌گیری برد ریلی و کمر پرتوی بسل-گاوس ۸۴
- ۴-۴- بررسی تاثیر تغییر پهنای لکه‌ی لیزری و تغییر زاویه‌ی راس بر برد ریلی پرتوی بسل-گاوس ۸۶
- ۵-۴- تولید پرتوی بسل-گاوس از یک لیزر تپی نئودیوم-یاگ ۹۲

فصل پنجم: تولید کنای میدانهای ناپراشی بسل-گاوس

- ۱-۵- پیش‌درآمد ۱۰۱
- ۲-۵- تحلیل بازآواگر اکسیکون پایه ۱۰۳
- ۳-۵- تعیین ویژه مدها ۱۰۸
- ۴-۵- بررسی رفتار پرتو بیرون بازآواگر ۱۱۲
- ۵-۵- طراحی بازآواگر اکسیکون پایه ۱۱۳
- ۶-۵- برپایی بازآواگر اکسیکون پایه ۱۱۷

۱۲۲ جمع‌بندی

۱۲۳ پیوست ۱

۱۲۴ پیوست ۲

۱۲۵ منابع و مآخذ

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- میدان الکتریکی در نقطه‌ی P توسط انتگرال پراشی فرنل-کیرشهف توصیف می‌شود.....	۳
شکل ۱-۲- انتشار میدان الکتریکی از میان یک سامانه‌ی نوری.....	۶
شکل ۱-۳- انتشار پرتوی گاوسی در فضای آزاد.....	۶
شکل ۱-۴- حضور محیط فعال درون بازآواگر.....	۱۰
شکل ۱-۵- شدت پرتوی منتشر شده درون بازآواگر از یک سو توسط محیط فعال تقویت می‌شود و از سوی دیگر در اثر اتلاف‌های مختلف درون مشدد، کاهش می‌یابد.....	۱۱
شکل ۱-۶- نمودار فایندلی-کلی.....	۱۴
شکل ۱-۲- میدان‌های تختی که بردارهای موج آن‌ها بر روی یک مخروط قرار داشته باشد، میدانی را می‌سازند که ضمن انتشار نمایه‌ی عرضی اولیه‌ی خود را حفظ می‌کند.....	۱۷
شکل ۲-۲- توابع نویمن در مبدا مختصات دارای تکینگی هستند.....	۲۲
شکل ۲-۳- میدان بسل، الف: میدان متحرکی که از محور دور می‌شود. ب: میدان متحرکی که به سمت محور در حرکت است. پ: موج برآیندی که با تابع بسل توصیف می‌شود.....	۲۴
شکل ۲-۴- نمایه‌ی عرضی شدت میدان بسل مرتبه‌ی صفر از نوع نخست.....	۲۶
شکل ۲-۵- نمایه‌ی عرضی شدت میدان بسل بر حسب مختصه‌ی شعاعی.....	۲۷
شکل ۲-۶- میدان بسل در مسیر انتشار به یک مانع دایره‌ای برخورد می‌کند.....	۳۰
شکل ۲-۷- نمایه‌ی عرضی شدت میدان ناپراشی بسل با استفاده از دو رهیافت نرده‌ای و برداری.....	۳۶
شکل ۲-۸- نمایه‌ی عرضی شدت پرتوی بسل-گاوس، نسبت به پرتوی بسل.....	۳۸
شکل ۲-۹- هرگاه زاویه‌ی واگرایی پرتوهای گاوس از زاویه‌ی گشودگی مخروط برهنه‌ی بزرگ‌تر باشد، آن-چه تشکیل می‌شود نمایه‌ای مانند میدان‌های گاوسی نخستین دارد.....	۴۱
شکل ۲-۱۰- پرتوهای بسل-گاوس در ناحیه‌ی برهنه‌ی تولید می‌شوند.....	۴۳
شکل ۲-۱۱- نمایه‌ی عرضی شدت پرتوی بسل-گاوس بر حسب فاصله‌ی شعاعی.....	۴۶
شکل ۲-۱۲- شدت محوری دو میدان بسل و میدان گاوسی.....	۴۷
شکل ۲-۱۳- میدان بسل-گاوس در مسیر انتشار به یک مانع دایره‌ای برخورد می‌کند.....	۴۹
شکل ۲-۱۴- چگونگی بازسازی نمایه‌ی عرضی شدت پرتوی بسل.....	۵۰
شکل ۲-۱۵- پرتوی لیزر شکافی حلقوی به ضخامت Δd را روشن می‌کند.....	۵۲
شکل ۲-۱۶- نمایه‌ی عرضی شدت پرتوی بسل-گاوس تشکیل شده.....	۵۳

عنوان

صفحه

- شکل ۲-۱۷- توزیع محوری شدت پرتوی بدست آمده از آزمایش دورنبین ۵۴
- شکل ۲-۱۸- نمونه‌ای ساده از اکسیکون بازتابی ۵۵
- شکل ۲-۱۹- گونه‌ای ساده از اکسیکون پراشی ۵۶
- شکل ۲-۲۰- عدسی مخروطی ۵۶
- شکل ۲-۲۱- اکسیکون پرتوهای فرودی را به سمت محور نوری خود می‌شکند ۵۷
- شکل ۲-۲۲- بررسی تاثیر افزایش پهناي لکه‌ی لیزری بر برد ریلی پرتو ۵۹
- شکل ۲-۲۳- بررسی تاثیر کاهش زاویه‌ی راس اکسیکون بر برد ریلی پرتو ۶۰
- شکل ۲-۲۴- پرتوی لاگر-گاوس پس از برخورد به اکسیکون به میدان بسل-گاوس مرتبه‌ی بالا تبدیل می-شود ۶۱
- شکل ۲-۲۵- سطح مقطع پرتوهای بسل از مرتبه‌ی ۱ تا ۴ ۶۲
- شکل ۳-۱- بازآواگر لیزری با عدسی داخلی، همراه با بازآواگر معادل ۶۶
- شکل ۳-۲- چگونگی تغییر کمیت‌های پرتو درون بازآواگر در اثر حضور عدسی گرمائی ۶۷
- شکل ۳-۳- تغییرات حجم مدی بر حسب تغییر شعاع انحنای آینه‌ی پشتی بازآواگری با طول ثابت ۶۸
- شکل ۳-۴- تغییرات زاویه‌ی واگرائی بر حسب تغییر سازه‌ی g_2 برای بازآواگری با طول ثابت ۶۸
- شکل ۳-۵- نمودار زاویه‌ی واگرائی میدان خروجی بر حسب فاصله‌ی محیط فعال تا آینه‌ی خروجی ۷۰
- شکل ۳-۶- نمودار اندازه‌ی لکه‌ی لیزری بر روی آینه‌ی خروجی ۷۰
- شکل ۳-۷- نمودار تغییر حجم مدی بر حسب فاصله‌ی آینه‌ی پشتی بازآواگر تا محیط فعال ۷۱
- شکل ۳-۸- طرح نمادین بازآواگر طراحی شده ۷۱
- شکل ۳-۹- نمودار سازه‌ی انتشار پرتوی لیزری بر حسب فاصله‌ی کانونی عدسی حرارتی ۷۲
- شکل ۳-۱۰- نمونه‌ی برپاشده‌ی بازآواگر خطی در حالت رانش آزاد ۷۳
- شکل ۳-۱۱- نمودار فایندلی-کلی ۷۴
- شکل ۳-۱۲- انرژی خروجی لیزر بر حسب انرژی الکتریکی دمشی با آینه‌هایی با ضریب بازتاب متفاوت ۷۵
- شکل ۳-۱۳- نمایه‌ی عرضی پرتوی گاوسی در ثانیه‌ی نخست فعالیت سامانه‌ی لیزری ۷۶
- شکل ۳-۱۴- نمایه‌ی عرضی پرتوی گاوسی پس از گذشت ۲۰ ثانیه از زمان شروع به فعالیت ۷۶
- شکل ۳-۱۵- روشی برای تعیین زاویه‌ی واگرائی میدان خروجی از بازآواگر ۷۷
- شکل ۳-۱۶- طرحی از چیدمان آزمایشگاهی اندازه‌گیری سازه‌ی انتشار ۷۹
- شکل ۴-۱- به خط‌کردن اکسیکون با یک لیزر هلیوم-نئون ۸۳

عنوان

صفحه

- شکل ۲-۴- نمایه‌های عرضی شدت میدان بسل-گاوس تولید شده از یک اکسیکون با زاویه‌ی راس ۱ درجه در فاصله‌های، الف: 50mm ب 100mm پ: 150mm ت: 230mm و ث: 260mm..... ۸۴
- شکل ۳-۴- ناحیه‌ی تداخلی تشکیل‌دهنده‌ی میدان‌های ناپراشی مرزهای معینی ندارد..... ۸۶
- شکل ۴-۴- نمایه‌ی عرضی شدت پرتوی بسل-گاوس تولید شده از اکسیکون با زاویه‌ی راس ۵ درجه و قطر لکه‌ی ۴ میلی‌متر در فاصله‌ی الف: 30mm، ب: 250mm، پ: 500mm..... ۸۸
- شکل ۵-۴- نمایه‌های عرضی شدت میدان تولید شده توسط اکسیکون با زاویه‌ی راس ۱ درجه و قطر لکه‌ی ۴ میلی‌متر در فاصله‌ی الف: 30mm، ب: 250mm، پ: 500mm..... ۸۹
- شکل ۶-۴- نمایه‌ی عرضی شدت پرتوی بسل-گاوس تولید شده از اکسیکون با زاویه‌ی راس ۰/۵ درجه و قطر لکه‌ی ۴ میلی‌متر در فاصله‌ی الف: 30mm، ب: 250mm، پ: 500mm..... ۹۰
- شکل ۷-۴- نمایه‌ی عرضی شدت پرتوی بسل-گاوس تولید شده از اکسیکون با زاویه‌ی راس ۱ درجه و قطر لکه‌ی ۲۰ میلی‌متر در فاصله‌ی الف: 600mm، ب: 800mm..... ۹۲
- شکل ۸-۴- طرحی از چینش ناکنای تولید میدان بسل-گاوس از یک لیزر نئودیوم-یاگ تپی..... ۹۳
- شکل ۹-۴- چینش آزمایشگاهی تولید میدان‌های شبه پایه‌ی بسل-گاوس..... ۹۴
- شکل ۱۰-۴- نمایه‌ی عرضی پرتوی بسل-گاوس تپی تولید شده از اکسیکون با زاویه‌ی راس ۱ درجه..... ۹۶
- شکل ۱۱-۴- نمایه‌های عرضی میدان بسل-گاوس تپی تولید شده از اکسیکون ۵ درجه، در فاصله‌های: الف: 250mm، ب: 300mm، پ: 400mm..... ۹۷
- شکل ۱۲-۴- نمایه‌های عرضی تولید شده از اکسیکون با زاویه‌ی راس ۱ درجه و با قطر لکه‌ی ۲۰ میلی‌متر. در فاصله‌های الف: 600mm و ب: 800mm..... ۹۹
- شکل ۱-۵- بازآواگر اکسیکون-پایه..... ۱۰۳
- شکل ۲-۵- بازآواگر معادل مشدد اکسیکون پایه..... ۱۰۵
- شکل ۳-۵- الگوی میدان سه مد نخست لیزر کننده درون بازآواگر اکسیکون پایه..... ۱۱۱
- شکل ۴-۵- نمایه‌ی عرضی شدت پرتوی گسیل شده از مشدد اکسیکون پایه بر حسب فاصله‌ی شعاعی ρ . در فواصل الف: 0، ب: 200mm، پ: 300mm، ت: 800mm پس از آینه‌ی خروجی بازآواگر..... ۱۱۳
- شکل ۵-۵- در ناحیه‌ی تداخلی پرتوهای بسل-گاوس تشکیل می‌شوند..... ۱۱۴
- شکل ۶-۵- حجم مدی بر حسب فاصله از انتهای محیط فعال تا محل آینه‌ی خروجی لیزر..... ۱۱۶
- شکل ۷-۵- طرح‌واره‌ای از برپائی بازآواگر اکسیکون پایه..... ۱۱۷
- شکل ۸-۵- چیدمان برپا شده برای تولید کنای میدان‌های بسل-گاوس..... ۱۱۸

عنوان

صفحه

شکل ۵-۹- نمایه عرضی شدت پرتوی بسل-گاوس. در فاصله ی الف: $200mm$ ، ب: $300mm$ و پ:

$600mm$ ۱۲۱

فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

جدول ۱-۳ - توان دمشی آستانه برای سه آینه با بازتابندگی مختلف..... ۷۴

فصل اول

انتشار پرتو درون بازآواگرهای لیزری

۱-۱ پیش درآمد

بازآواگرهایی که در لیزرها استفاده می‌شوند با آنچه در زمینه‌ی میکروموج به کار می‌رود، تفاوت دارند. بازآواگرهای لیزری، معمولاً باز هستند و سطوح جانبی ندارند، اندازه و ابعاد آنها نیز بسیار بزرگ‌تر از طول موج لیزری است. دو ویژگی یاد شده تأثیر چشم‌گیری در کارکرد بازآواگرهای نوری دارند. نداشتن سطوح جانبی موجب می‌شود در هر مد کاواک تلفات اجتناب‌ناپذیری وجود داشته باشد. این تلفات به علت پراش میدان الکترومغناطیسی است که موجب فرار بخشی از انرژی از اطراف بازآواگر می‌شود. این تلفات را تلفات پراش می‌نامند [۱]. بزرگ بودن ابعاد کاواک نسبت به طول موج لیزری باعث می‌شود فرکانس‌های مختلف با فاصله‌های فرکانسی کم درون بازآواگر، به صورت هم‌نوا نوسان کنند [۱]. اگر تشدیدکننده بسته باشد، این مدها تلفات مشابهی خواهند داشت و اگر این تشدیدکننده به عنوان بازآواگر لیزری استفاده شود، عمل لیزری برای تعداد زیادی مد صورت می‌گیرد. چنین وضعیتی بسیار نامطلوب است. چرا که در این حالت نور خروجی در یک

ناحیه‌ی گسترده‌ی بنیابی و در تمام جهات گسیل می‌شود. با استفاده از هم‌نواگرهای باز، بدون سطوح جانبی، چنین مشکلی تا حد زیادی حل می‌شود. در چنین هم‌نواگرهایی تنها تعداد مدهای بسیار کمی، مربوط به برهم‌نهی امواجی که تقریباً موازی محور تشدیدکننده حرکت می‌کنند، تلفات نسبتاً کمی دارند و نوسان لیزری را ممکن می‌سازند. امواج مربوط به سایر مدها پس از چندبار رفت و آمد درون مشدد، تقریباً از بین می‌روند. ولی هم‌چنان تعداد مدهای لیزری بیشتر از واحد است [۱]. از دیگر سوی، استفاده از بازآواگرها با سطوح جانبی باز کار را بر روی این دسته آسان‌تر می‌کند. برای مثال در فرآیند دمش لیزری با لامپ درخشی^۱، حضور سطح جانبی در کار دمش اختلال ایجاد می‌کند [۲].

بازآواگرهای لیزری معمولاً دارای آینه‌های تخت یا کروی با شکل‌های دایره‌ای یا مستطیلی هستند که به فاصله‌ی L از یکدیگر قرار می‌گیرند. البته در مواردی نیز محیط‌های فعال لیزری به گونه‌ای ساخته می‌شوند که دو انتهای این محیط‌ها نقش سطوح بازتابان را ایفا می‌کنند. این دسته بازآواگرها را بازآواگرهای یک پارچه^۲ می‌گویند [۲]. رفتار پرتو درون بازآواگرها معمولاً با ماتریس انتقال پرتو^۳ دنبال می‌شود. این ماتریس‌ها به صورت گسترده در توصیف انتشار پرتوهای پیرامحوری ضمن عبور از سازه‌های نوری نظیر عدسی‌ها، آینه‌ها و ... استفاده می‌شوند [۳]. با بررسی ماتریس انتقال پرتو برای یک رفت و برگشت نور درون بازآواگر شرایط پایداری بازآواگر، یعنی شرایطی که در آن پرتو پس از رفت و بازگشت‌های متوالی هم‌چنان درون بازآواگر باقی می‌ماند، تعیین می‌شود [۳]. در پیوست ۱ ماتریس‌های انتقال پرتو برای برخی سامانه‌های نوری آورده شده‌است.

در این فصل نخست به توصیف انتشار پرتو درون بازآواگرهای لیزری می‌پردازیم. در ادامه مدهای درون بازآواگر را به اختصار معرفی می‌کنیم و سپس بسامدهای هم‌نواگری این مدها را توضیح می‌دهیم. در انتها رفتار پرتو را درون یک بازآواگر با در نظر گرفتن تاثیر حضور محیط فعال لیزری بررسی می‌کنیم. از آن‌جا که هدف اصلی این پژوهش بررسی میدان‌های ناپراشی بسط است و با توجه به این‌که میدان‌های معمول بازآواگرهای لیزری، میدان‌های گاوسی، مفاهیم کم و بیش شناخته شده‌ای دارند، از توصیف کامل این دسته میدان‌ها دوری می‌کنیم و خواننده‌ی علاقمند به این زمینه را به کتاب‌های گوناگونی که در این مورد نوشته شده‌اند، ارجاع می‌دهیم [۱، ۲، ۳، ۴].

۱. Flash Pump

۲. monolithic

۳. Ray transfer matrix

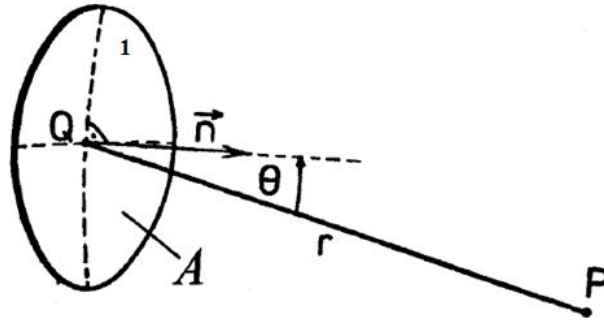
۲-۱ انتشار پرتو درون بازآواگر لیزری

در این پژوهش از آینه‌های کروی با شعاع انحنای بالا استفاده شده است، در فصل سوم دلیل چنین انتخابی را توضیح خواهیم داد. چنین آینه‌هایی با تقریب نسبتاً خوبی مانند آینه‌های تخت عمل می‌کنند و بر این اساس می‌توان چنین بازآواگرهایی را مانند بازآواگر آینه‌ای تخت-تخت در نظر گرفت. از این‌رو در ادامه‌ی این فصل به تحلیل بازآواگرهای تخت-تخت می‌پردازیم.

رفتار نور ضمن انتشار درون یک بازآواگر به صورت زیر نشان داده می‌شود [۴]:

$$U_2 = e^{-ikl} \int K(x_2, y_2; x_1, y_1) U_1 dA \quad (1-1)$$

که در آن $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ عدد موج پرتوی منتشر شده و l طول مسیر پیموده شده در یک رفت و برگشت است. انتگرال بر روی کل صفحه‌ی ۱ که گاه آن را صفحه‌ی مرجع نیز می‌نامند، گرفته می‌شود (شکل ۱-۱). تابع K را هسته‌ی انتشار می‌نامند. میدان پس از یک رفت و بازگشت توسط میدان اولیه‌ی U و از طریق عملگر K به دست می‌آید [۴]. در واقع شکل عملگر K بسته به این که در مسیر انتشار پرتو چه سازه‌های نوری وجود داشته باشند، متفاوت خواهد بود. در حالتی که پرتو ضمن انتشار درون بازآواگر لیزری یک فضای خالی از هرگونه سازه‌ی نوری را طی کند، انتگرال (۱-۱) به انتگرال پراشی فرنل-کیرشهف منتهی می‌شود [۴].



شکل ۱-۱: میدان الکتریکی در نقطه‌ی P توسط انتگرال پراشی فرنل-کیرشهف توصیف می‌شود [۳]

با توجه به شکل (۱-۱)، اگر نقطه‌های Q و P بر روی آینه‌های بازآواگر قرار گرفته باشند و U را بتوان یک توزیع میدان مربوط به مد بازآواگر در محل Q در نظر گرفت، توزیع میدان بر روی آینه‌ی ۲، صرف نظر از یک ضریب مشخص باید دوباره با توزیع نخستین U برابر شود [۳]. در این حالت با توجه به انتگرال پراشی فرنل-کیرشهف می‌توان چنین نوشت:

$$\gamma U(P) = -\frac{i}{2\lambda_1} \int \frac{U(Q) \exp(ikr)(1 + \cos\theta)}{r} dA_1 \quad (2-1)$$

که γ مقداری ثابت است. پاسخ‌های ویژه‌ی U توزیع میدان یک مد بازآواگر را بر روی آینه‌ها تعریف می‌کنند. ویژه‌مقدارهای γ کمیت‌هائی غیر حقیقی هستند و به این صورت تعریف می‌شوند:

$$\gamma = |\gamma| e^{i\phi} \quad (3-1)$$

که ϕ ، تأخیر فاز موج در انتشار از یک آینه به آینه‌ی دیگر است. از آن‌جا که ابعاد بازآواگر محدود است، الگوی عرضی میدان در هر انتشار درون بازآواگر پهن می‌شود. این پهن‌شدگی به علت پراش میدان از این نواحی محدود به وجود می‌آید. به این ترتیب اندازه‌ی ویژه‌مقدار γ همواره کمتر از یک خواهد بود. بنابراین با حضور آینه‌های کاملاً بازتابان، هر مد درون بازآواگر نوری در هر رفت و بازگشت در اثر پراش اتلافی به صورت $V_d = 1 - |\gamma|^2$ دارد. اگر آینه‌ها کاملاً بازتابان نباشند، تلفات ناشی از جذب توسط آینه‌ها را نیز باید به رابطه‌ی فوق افزود [۱]. به این ترتیب ویژه‌مقدارها و ویژه‌پاسخ‌های بدست آمده از رابطه‌ی (۲-۱) کمیت‌های مورد نظر در بررسی مدهای بازآواگر نظیر توزیع میدان بر روی آینه‌ها و تلفات ناشی از پراش را تعیین می‌کنند. با معلوم شدن توزیع میدان بر روی آینه‌های بازآواگر، با کمک انتگرال پراشی فرنل توزیع میدان در هر نقطه درون بازآواگر و یا در خارج آن محاسبه می‌شود.

به‌کارگیری چند تقریب تحلیل رابطه‌ی (۲-۱) را ساده‌تر می‌کند. نخست این‌که با استفاده از تقریب پیرامحوری فرض می‌شود $\cos\theta \approx 1$ و دیگر این‌که فرض می‌شود مساحت مقطع A بسیار بزرگ‌تر از طول موج است. چنین انگاشتی در مورد بازآواگرهای نوری درست است [۱]. در تقریب پیرامحوری هم‌چنین فرض می‌شود که فاصله‌ی r در محدوده‌ی انتگرال‌گیری چندان تغییر نکند. از آن‌جا که در این پژوهش مؤلفه‌های نوری استفاده شده همگی مقطعی دایره‌ای دارند، با توجه به شکل (۲-۱)، بسط r به

$$r = [L + (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2]^{\frac{1}{2}} = L + \frac{1}{2L} [(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2] \quad \text{صورت}$$

مختصات قطبی، رابطه‌ی (۲-۱) به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$U = iN \exp[-ikL] \int_0^{2\pi} \int_0^1 U \exp[-iN(r_1^{*2} + r_2^{*2} - 2r_1^* r_2^* \cos(\phi_2 - \phi_1))] r_1^* dr_1^* d\phi_1 \quad (3-1)$$

در این رابطه، $N = \frac{R^2}{\lambda L}$ عدد فرنل، R شعاع آینه‌ها و $r_i^* = \frac{r_i}{R}$ مختصه‌ی شعاعی به‌نچار شده‌است.

برای میدان الکتریکی که به صورت حاصل ضرب دو سهم زاویه‌ای و شعاعی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$U = u(r_i^*) \exp[-im\phi_i], \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (4-1)$$

رابطه‌ی (۳-۱) در تقریب فرانهورف، به صورت زیر نوشته می‌شود [۳]:

$$U(\theta) = -(-i)^{m+1} 2N \exp[-ikL] \times \int_0^1 U_1(r_1^*) J_m\left(\frac{2\pi}{\lambda} R r_1^*\right) r_1^* dr_1^* \quad (۵-۱)$$

که $\theta = \frac{r_2}{L}$ و J_m تابع بسل مرتبه‌ی m از نوع اول است. همچنین این رابطه در تقریب فرنل به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$U(r_2^*) = -(-i) 2N \exp[-ikL] \times \int_0^1 U_1(r_1^*) \exp[-i\pi N(r_1^* + r_2^*)] J_m(2\pi N r_1^* r_2^*) r_1^* dr_1^* \quad (۶-۱)$$

در این رابطه $N = \frac{A}{\lambda L}$ عدد فرنل و r_i^* مختصه‌ی شعاعی بهنجار شده است.

برای پاسخ‌گوئی به چنین روابطی روش‌های گوناگونی پیشنهاد شده‌است [۵]. از این دسته روش‌ها می‌توان به روش فاکس و لی که بر پایه‌ی تکرار فرآیند انتگرال گیری استوار است، اشاره کرد [۶].

آنچه بررسی کردیم چگونگی انتشار نور درون یک بازآواگر خالی از هرگونه سازه‌ی نوری بود. اگر در مسیر انتشار پرتو درون بازآواگر مؤلفه‌های نوری وجود داشته باشند، انتگرال پراشی فرنل-کیرشهف به صورت دیگری تبدیل می‌شود که در ادامه به بررسی آن می‌پردازیم.

همان‌گونه که اشاره کردیم، در انتگرال (۱-۱)، بسته به این که در مسیر انتشار پرتو چه مؤلفه‌های نوری وجود داشته باشند هسته‌ی انتگرال K از صورتی به صورت دیگر تغییر می‌کند. در حالت کلی، اگر در مسیر انتشار پرتو مؤلفه‌ای با ماتریس انتقال M قرار داشته باشد، مانند آنچه در شکل (۲-۱) دیده می‌شود، هسته‌ی K با رابطه‌ی کلی زیر بیان می‌شود [۴]:

$$K = \exp\left[\frac{-i}{B\lambda} (Ax_1^2 + Dx_2^2 - 2x_1x_2 + Ay_1^2 + Dy_2^2 - 2y_1y_2)\right] \quad (۷-۱)$$

در این صورت انتگرال (۱-۱) به صورت زیر بیان می‌شود. این انتگرال را انتگرال کالینز می‌نامند [۴]:

$$E_2(x_2, y_2) = \frac{i}{B\lambda} \exp[-ikL] \times \iint E(x_1, y_1) \exp\left[\frac{-i}{B\lambda} (Ax_1^2 + Dx_2^2 - 2x_1x_2 + Ay_1^2 + Dy_2^2 - 2y_1y_2)\right] dx_1 dy_1 \quad (۸-۱)$$

رابطه‌ی (۷-۱) با یافتن کوتاه‌ترین فاصله‌ی میان نقاط دو صفحه‌ی مجزای ۱ و ۲ که مؤلفه‌ی نوری دلخواه میان آن‌ها قرار گرفته است، بدست می‌آید [۷].