

صَلَاةُ الْإِسْلَامِ



دانشگاه شهید چمران اهواز
دانشکده علوم

شماره پایان نامه: ۹۲۲۴۲۱۶۴

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

گرایش اتمی و مولکولی

عنوان :

**بررسی بازده و نمایه‌ی میدان پرتوهای شبه غیرپراشی بسل-گوس در تولید هماهنگ
دوم پالسی تحت اثرات گرمایی**

استاد راهنما:

دکتر محمد صبائیان

استاد مشاور:

دکتر ایرج کاظمی نژاد

نگارنده:

علیرضا معتضدیان

مهرماه ۱۳۹۲

به پاس قلب‌های بزرگشان که فریادس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید

و به پاس محبت‌های بی‌دینشان که هرگز فروکش نمی‌کند؛

این مجموعه را تقدیم می‌کنم به:

پدرم که راه را به من نشان داد،

مادرم که چگونه راه رفتن را به من آموخت،

برادر و خواهرهای عزیزم به پاس دلگرمی و تشویق‌هایشان

و

دایی عزیزم، منصور عطایی، که بدون وجود او طی این مسیر رویایی ممکن نبود.

سپاس بی‌کران پروردگاریکتارا که هستی مان، بخشید و به طریق علم و دانش، رهنمونان شد و به هم‌نشینی مردان علم و دانش
مفتخرمان نمود و خوشه‌چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت. اینک که با تکیه بر لطف بی‌درغش قدم در این راه
نهاده و در سایه‌ی عنایتش آن را به پایان رساندم، شایسته است که بازبانی قاصرو از صمیم قلب از یکایک بزرگان و
اندیشمندان‌ی که توان و قلم خود را در اختیارم نهادند، تقدیر نمایم.

سپاس فراوان از استاد راهنمای فریخته‌ام جناب آقای دکتر محمد صبانیان که در طول مدت انجام این پایان‌نامه از
رهنمودهای علمی و اخلاقی ایشان بهره‌مند شدم و درگاه خداوند بزرگ را شاکرم که افتخار شاگردی ایشان را نصیبم نمود.
از استاد مشاور گرامی جناب آقای دکتر ایرج کاظمی نژاد به خاطر رهنمودهای علمی و اخلاقی ارزنده‌شان بسیار
سپاسگزارم.

هم‌چنین تشکر می‌کنم از

جناب آقای دکتر داوود افشار به پاس الطاف فراوان ایشان در دوره‌ی تحصیل و پذیرش داوری این پایان‌نامه،
جناب آقای دکتر منصور فرید، نماینده‌ی محترم تحصیلات تکمیلی که نظارت بر حسن ارائه‌ی این پایان‌نامه را بر عهده
گرفتند.

و منشی محترم گروه فزیک خانم زهره صفی‌خانی به پاس زحمات‌های بی‌درغشان.

پاسکزار دوست همیشه همراهم آقای مصطفی محمدرضایی و خانم مهرباشان سارا مهدی نژاد، هستم.

پاس ویژه از دوستان بسیار ارزشمندم، آقایان علی پارسافر، محمدرضا شاهرزاده، علی خالدی نصب، حامد آموزگار، مهدی اورکی، ایمان خزرک و خانم فاطمه صداقت. حلیل آبادی، زهره جاودانی، صغری بهرامی، شهرزاد پارماکه در

مسیر پیشرفت این پروژه از راهنمایی ایشان بهره بردم.

و پاسکزار تمام دوستانم، هستم که هر یک به نوعی مراد به انجام رساندن این مهم یاری نمودند.

علیرضا معضدیان

مهرماه ۱۳۹۲

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱ لیزرهای غیرخطی
۵	۲-۱ اثرات گرمایی و شیب دمایی
۵	۱-۳ پرتوهای بسل-گاوس
۵	۱-۳-۱ توصیف پرتوی بسل-گاوس
۱۰	۲-۳-۱ خودترمیم‌کنندگی پرتوی بسل-گاوس
۱۱	۳-۳-۱ کاربردهای پرتوی بسل-گاوس
۱۱	۴-۳-۱ روش‌های تولید پرتوهای بسل-گاوس
۱۵	۴-۱ مروری بر تحقیقات گذشته
۱۷	۵-۱ مراحل انجام این پژوهش
۲۰	۶-۱ آنچه در این پایان‌نامه خواهد آمد
۲۲	فصل دوم: معادله‌ی گرما
۲۳	۱-۲ مقدمه
۲۳	۲-۲ معادله‌ی گرما
۲۴	۱-۲-۲ شرایط مرزی
۲۶	۳-۲ رویه‌ی عددی
۲۸	۴-۲ شرط پایداری
۲۹	۵-۲ ثابت‌های فیزیکی و مقادیر به‌کار رفته در محاسبات
۳۰	۶-۲ نتایج

۳۰.....	شبهه‌سازی چشمه‌ی پالس‌های پشت سر هم بسل-گوس	۱-۶-۲
۳۳.....	چشمه‌ی پالس‌های پشت سر هم بسل-گوس	۱-۱-۶-۲
۳۷.....	بررسی اثر رسانندگی گرمایی	۲-۶-۲
۴۱.....	بررسی اثر شرط مرزی تابش	۳-۶-۲
۴۳.....	مقایسه‌ی نتایج شبهه‌سازی شده با روش اجزای محدود	۴-۶-۲
۴۶.....	حل معادله‌ی گرما با رسانندگی گرمایی وابسته به دما	۷-۲
۵۲	فصل سوم: عدم تطبیق فاز القاء شده‌ی گرمایی	
۵۳.....	مقدمه	۱-۳
۵۳.....	معادله‌ی عدم تطبیق فاز $\Delta\varphi$	۲-۳
۵۵.....	نتایج	۳-۳
۶۰	فصل چهارم: معادلات جفت شده‌ی میدان و حل عددی آن‌ها در حالت ایده‌آل	
۶۱.....	مقدمه	۱-۴
۶۱.....	معادله‌ی موج غیرخطی	۲-۴
۶۵.....	معادلات جفت شده‌ی میدان	۳-۴
۶۹.....	تولید هماهنگ دوم	۱-۳-۴
۷۲.....	رویه‌ی عددی	۴-۴
۷۴.....	ثابت‌های فیزیکی و مقادیر به‌کار رفته در محاسبات	۵-۴
۷۶.....	نتایج	۶-۴
۸۱.....	نتیجه‌گیری	۷-۴
۸۲	فصل پنجم: حل معادلات جفت شده‌ی تولید هماهنگ دوم پالسی، فاز و گرما	
۸۳.....	مقدمه	۱-۵

- ۲-۵ معادلات جفت‌شده‌ی هماهنگ دوم پالسی، فاز و گرما ۸۴
- ۳-۵ رویه‌ی عددی ۸۵
- ۴-۵ ثابت‌های فیزیکی و مقادیر به‌کار رفته در حل معادلات جفت‌شده ۸۹
- ۵-۵ بررسی تأثیر اثرات گرمایی در تولید هماهنگ دوم پالس ۹۰
- ۶-۵ نتیجه‌گیری ۱۰۱
- ۱۰۲ فصل ششم: بهینه‌سازی کد خودنوشت
- ۱-۶ مقدمه ۱۰۳
- ۲-۶ محاسبه‌ی میزان حافظه‌ی موقت مورد نیاز برای کد بهینه‌نشده ۱۰۴
- ۱-۲-۶ محاسبه‌ی تعداد درایه‌های آرایه‌های به کار رفته در کد بهینه‌نشده ۱۰۴
- ۲-۲-۶ محاسبه‌ی تعداد درایه‌های آرایه‌های به کار رفته در کد بهینه‌شده ۱۰۵
- ۳-۶ نتیجه‌ی بهینه‌سازی حافظه‌ی موقت ۱۰۶
- ۴-۶ محاسبه‌ی زمان مورد نیاز برای اجرای کد بهینه‌نشده ۱۰۷
- ۱-۴-۶ محاسبه‌ی تعداد تکرار بخش‌های مختلف کد بهینه‌نشده و بهینه‌شده ۱۰۷
- ۵-۶ نتیجه‌ی بهینه‌سازی زمان مورد نیاز برای اجرای کد ۱۰۹
- ۶-۶ نتیجه‌ی نهایی بهینه‌سازی کد ۱۱۰
- پیوست ۱: کد خودنوشت برای حل معادله‌ی گرما ۱۱۱
- پیوست ۲: کد خودنوشت برای محاسبه‌ی تابع بسل ۱۲۷
- پیوست ۳: کد خودنوشت برای محاسبه‌ی عدم تطبیق فاز القاء‌شده‌ی گرمایی ۱۳۳
- پیوست ۴: کد خودنوشت برای محاسبه‌ی یک معادله‌ی میدان یک بعدی ۱۴۹
- پیوست ۵: کد خودنوشت برای محاسبه‌ی همزمان سه معادله‌ی میدان جفت‌شده‌ی یک بعدی ۱۵۴

- پیوست ۶: کد خودنوشت برای حل معادلات جفت‌شده‌ی تولید هماهنگ دوم پالسی در حالت ایده‌آل..... ۱۶۵
- پیوست ۷: کد خودنوشت برای حل معادلات جفت‌شده‌ی تولید هماهنگ دوم پالسی، گرما و فاز..... ۱۸۴
- پیوست ۸: کد خودنوشت برای کاهش حجم فایل‌های خروجی..... ۲۲۵
- پیوست ۹: کد خودنوشت برای تبدیل داده‌های ستونی به سطری..... ۲۲۸
- پیوست ۱۰: کد خودنوشت برای ساختن فایل‌های متعدد با نام‌های فیزیکی..... ۲۳۱
- پیوست ۱۱: کد خودنوشت برای شبیه‌سازی پروفایل بسل-گوس..... ۲۳۳
- مراجع..... ۲۳۵

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۳۰	جدول ۱-۲: ثابت‌های به‌کار رفته در معادله‌ی گرما
۷۵	جدول ۱-۴: مقادیر ثابت به‌کار رفته در حل معادلات جفت شده میدان در حالت ایده‌آل
۸۹	جدول ۱-۵: مقادیر ثابت به‌کار رفته در حل معادلات جفت شده
۱۰۴	جدول ۱-۶: مشخصات آرایه‌های به‌کار رفته در کد بهینه‌نشده برای محاسبه‌ی تعداد کل درایه‌ها
۱۰۴	جدول ۲-۶: مشخصات آرایه‌های به‌کار رفته در کد بهینه‌شده برای محاسبه‌ی تعداد کل درایه‌ها
۱۰۵	جدول ۳-۶: مشخصات آرایه‌های کد بهینه‌نشده برای محاسبه‌ی تعداد تکرار بخش‌های مختلف کد
۱۰۷	جدول ۴-۶: مشخصات آرایه‌های کد بهینه‌شده برای محاسبه‌ی تعداد تکرار بخش‌های مختلف کد
۱۰۸	

صفحه	عنوان
۴.....	شکل ۱-۱: سیستم درون کاواکی
۴.....	شکل ۲-۱: سیستم برون کاواکی
	شکل ۳-۱: پرتوهای هلمهولتز-گائوس: (الف) پرتوهای بسل در مختصات استوانه‌ای (پرتوهای بسل-گائوس). (ب) پرتوهای کسینوسی در مختصات دکارتی (پرتوهای کسینوس-گائوس). (ج) پرتوهای ماتیو در مختصات استوانه‌ای بیضوی. (د) پرتوهای هذلولی در مختصات استوانه‌ای سهموی.....
۷.....	شکل ۴-۱: تصویری از چگونگی قرارگیری بردار موج بر روی مخروط
۸.....	شکل ۵-۱: تصویر پرتوی گائوسی (سمت راست) و تصویر پرتوی بسل-گائوسی (سمت چپ).....
۹.....	شکل ۶-۱: (الف) نمودار ریاضی تابع گائوس. (ب) نمودار ریاضی تابع بسل. (ج) نمودار ریاضی تابع بسل-گائوس.....
۱۰.....	شکل ۷-۱: نمایه‌ی عرضی شدت میدان بسل-گائوس در اثر برخورد به مانع.....
۱۰.....	شکل ۸-۱: تصویر گام به گام پدیده‌ی خودترمیم‌کنندگی.....
۱۱.....	شکل ۹-۱: تولید میدان بسل-گائوس با استفاده از شکاف حلقوی و عدسی همگرا.....
۱۲.....	شکل ۱۰-۱: نمونه‌ی ساده از اکسیکون بازتابی.....
۱۳.....	شکل ۱۱-۱: اکسیکون پراشی.....
۱۳.....	شکل ۱۲-۱: اکسیکون شکستی.....
۱۴.....	شکل ۱۳-۱: چگونگی تشکیل نمایه‌ی بسل-گائوس
۲۵.....	شکل ۱-۲: شمای بلور غیرخطی با شرایط مرزی، جهت تابش دمش و محورهای مختصات
۲۵.....	شکل ۲-۲: طرحواره‌ای از نیم‌صفحه‌ی بالایی سطح مقطع بلور در راستای طولی.....
	شکل ۳-۲: تغییرات دما در راستای محور بلور با ضریب پایداری نامناسب در حل معادله‌ی گرما
۲۹.....	شکل ۴-۲: تغییرات دما در راستای شعاعی بلور با ضریب پایداری مناسب (منحنی توپر) و با

- ضریب پایداری نامناسب (منحنی خط‌چین)..... ۲۹
- شکل ۲-۵: نمایه عرضی تابع بسمل مرتبه‌ی صفر. ۳۱
- شکل ۲-۶: نمایه‌های عرضی توابع بسمل (منحنی نقطه‌چین)، گاوس (منحنی خط‌چین) و بسمل-گاوس (منحنی توپر)..... ۳۲
- شکل ۲-۷: نمایه‌های عرضی توابع شدت بسمل (منحنی نقطه‌چین)، گاوس (منحنی خط‌چین) و بسمل-گاوس (منحنی توپر)..... ۳۳
- شکل ۲-۸: شکل شماتیک دو پالس متوالی. ۳۴
- شکل ۲-۹: تغییرات دمای نقطه‌ی مرکزی صفحه‌ی ورودی بلور برحسب زمان به ازای تابش یک پالس. ۳۵
- شکل ۲-۱۰: تغییرات دما برحسب زمان به ازای تابش دو پالس. ۳۵
- شکل ۲-۱۱: تغییرات دما برحسب زمان به ازای تابش ۱۰۰ پالس. ۳۶
- شکل ۲-۱۲: تغییرات دما برحسب زمان به ازای تابش ۲۰۰۰ پالس. ۳۶
- شکل ۲-۱۳: تغییرات رسانندگی گرمایی بر حسب زمان برای حالتی با رسانندگی گرمایی ثابت (منحنی خط‌چین) و حالتی با رسانندگی گرمایی وابسته به دما (منحنی توپر)..... ۳۸
- شکل ۲-۱۴: تغییرات رسانندگی گرمایی در راستای طول بلور برای حالتی با رسانندگی گرمایی ثابت (منحنی خط‌چین) و حالتی با رسانندگی گرمایی وابسته به دما (منحنی توپر)..... ۳۹
- شکل ۲-۱۵: تغییرات رسانندگی گرمایی در راستای شعاع بلور برای حالتی با رسانندگی گرمایی ثابت (منحنی خط‌چین) و حالتی با رسانندگی گرمایی وابسته به دما (منحنی توپر)..... ۳۹
- شکل ۲-۱۶: تغییرات دما برحسب زمان برای دو حالت با رسانندگی گرمایی ثابت و رسانندگی گرمایی وابسته به دما. ۴۰
- شکل ۲-۱۷: تغییرات دما در راستای طول بلور برای دو حالت با رسانندگی گرمایی ثابت (منحنی خط‌چین) و رسانندگی گرمایی وابسته به دما (منحنی توپر)..... ۴۰
- شکل ۲-۱۸: تغییرات دما در راستای شعاعی در صفحه‌ی ورودی بلور با دو حالت با رسانندگی گرمایی ثابت (منحنی خط‌چین) و رسانندگی گرمایی وابسته به دما (منحنی توپر)..... ۴۱
- شکل ۲-۱۹: تغییرات دما در راستای شعاعی بلور. ۴۲

- شکل ۲-۲۰: تغییرات دما در راستای طول بلور..... ۴۲
- شکل ۲-۲۱: تغییرات دما برای نقطه‌ی مرکزی صفحه‌ی ورودی بلور..... ۴۴
- شکل ۲-۲۲: تغییرات دما در راستای شعاع برای صفحه‌ی ورودی بلور..... ۴۴
- شکل ۲-۲۳: نمودار تغییرات دما روی محور بلور..... ۴۵
- شکل ۲-۲۴: نمودار تغییرات دما روی محور بلور..... ۴۵
- شکل ۲-۲۵: تغییرات دمای نقطه‌ی مرکزی صفحه‌ی ورودی بلور برحسب زمان به ازای تابش یک پالس..... ۴۷
- شکل ۲-۲۶: تغییرات دمای نقطه‌ی مرکزی صفحه‌ی ورودی بلور برحسب زمان به ازای تابش دو پالس..... ۴۷
- شکل ۲-۲۷: تغییرات دمای نقطه‌ی مرکزی صفحه‌ی ورودی بلور برحسب زمان به ازای تابش ده پالس..... ۴۸
- شکل ۲-۲۸: تغییرات دمای نقطه‌ی مرکزی صفحه‌ی ورودی بلور برحسب زمان به ازای تابش صد پالس..... ۴۸
- شکل ۲-۲۹: تغییرات دمای نقطه‌ی مرکزی صفحه‌ی ورودی بلور برحسب زمان به ازای تابش هزار پالس..... ۴۹
- شکل ۲-۳۰: تغییرات دما در راستای شعاعی برای صفحه‌ی ورودی به ازای تابش تعداد پالس‌های مختلف..... ۵۰
- شکل ۲-۳۱: نمودار تغییرات دما در راستای محور بلور به ازای تابش تعداد پالس‌های مختلف... ۵۰
- شکل ۲-۳۲: نمودار تغییرات دما برحسب زمان برای تابشی با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز به ازای تابش ۲۰۰۰ پالس..... ۵۱
- شکل ۲-۳۳: نمودار تغییرات دما برای تابشی با فرکانس ۵۰۰ هرتز به ازای تابش ۲۰۰۰ پالس..... ۵۱
- شکل ۳-۱: تغییرات دما (شکل کوچک) و عدم تطبیق فاز بر حسب زمان به ازای تابش یک پالس در صفحه‌ی ورودی بلور..... ۵۶
- شکل ۳-۲: تغییرات دما و عدم تطبیق فاز بر حسب زمان به ازای تابش دو پالس در صفحه‌ی ورودی بلور..... ۵۷

- شکل ۳-۳: تغییرات دما و عدم تطبیق فاز بر حسب زمان به ازای تابش صد پالس در صفحه‌ی ورودی بلور ۵۷
- شکل ۴-۳: تغییرات دما و عدم تطبیق فاز بر حسب زمان به ازای تابش ۲۰۰۰ پالس در صفحه‌ی ورودی بلور ۵۸
- شکل ۵-۳: تغییرات دما و عدم تطبیق فاز در راستای شعاعی به ازای تابش پالس‌های مختلف ۵۸
- شکل ۶-۳: تغییرات دما (شکل کوچک) و تغییرات عدم تطبیق فاز در راستای محور بلور به ازای تابش پالس‌های مختلف ۵۹
- شکل ۱-۴: تولید بسامد مجموع ۶۹
- شکل ۲-۴: تولید هماهنگ دوم نوع دوم ۶۹
- شکل ۳-۴: بازده موج اولیه را در راستای محور بلور ۷۷
- شکل ۴-۴: بازده تولید هماهنگ دوم در راستای محور بلور ۷۷
- شکل ۵-۴: بازده تولید هماهنگ دوم (منحنی توپر) و موج اولیه (منحنی خط‌چین) در راستای طول بلور ۷۸
- شکل ۶-۴: بازده موج اولیه در راستای شعاعی برای صفحه‌ی ورودی بلور ۷۹
- شکل ۷-۴: بازده موج اولیه در راستای شعاعی برای صفحه‌ی خروجی بلور ۷۹
- شکل ۸-۴: بازده تولید هماهنگ دوم در راستای شعاعی برای صفحه‌ی خروجی بلور ۸۰
- شکل ۹-۴: بازده موج اولیه (منحنی خط‌چین) و تولید هماهنگ دوم (منحنی توپر) بر حسب زمان برای نقطه‌ی مرکزی صفحه‌ی خروجی بلور ۸۰
- شکل ۱-۵: بازده تولید هماهنگ دوم (منحنی توپر) و موج اولیه (منحنی خط‌چین) در راستای طول بلور ۹۱
- شکل ۲-۵: بازده امواج اولیه در راستای طولی برای محور اصلی بلور در زمان‌های مختلف ۹۲
- شکل ۳-۵: بازده تولید هماهنگ دوم در راستای طولی برای محور اصلی بلور ۹۳
- شکل ۴-۵: تغییرات دما (الف) و تغییرات عدم تطبیق فاز (ب) در راستای طولی برای محور اصلی بلور ۹۴
- شکل ۵-۵: بازده امواج اولیه در راستای شعاعی برای صفحه‌ی ورودی بلور ۹۵

- شکل ۵-۶: بازده امواج اولیه در راستای شعاعی برای صفحه‌ی خروجی بلور ۹۶
- شکل ۵-۷: بازده تولید هماهنگ دوم در راستای شعاعی برای صفحه‌ی خروجی بلور ۹۶
- شکل ۵-۸: (الف) تغییرات دما و (ب) تغییرات عدم تطبیق فاز در راستای شعاعی برای صفحه‌ی خروجی بلور ۹۷
- شکل ۵-۹: بازده امواج اولیه در طول زمان برای نقطه‌ی مرکزی صفحه‌ی خروجی بلور ۹۹
- شکل ۵-۱۰: بازده تولید هماهنگ دوم در طول زمان برای نقطه‌ی مرکزی صفحه‌ی خروجی بلور ۹۹
- شکل ۵-۱۱: (الف) تغییرات دما و (ب) تغییرات عدم تطبیق فاز برحسب زمان در نقطه‌ی مرکزی صفحه‌ی خروجی بلور به ازای تابش ۲۰ پالس ۱۰۱

نام خانوادگی دانشجو: معتضدیان		نام: علیرضا
عنوان پایان نامه/رساله: بررسی بازده و نمایه‌ی میدان پرتوهای شبه غیرپراشی بسل-گوس در تولید هماهنگ دوم پالسی تحت اثرات گرمایی		
استاد راهنما: دکتر محمد صبائیان		استاد مشاور: دکتر ایرج کاظمی نژاد
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک	گرایش: اتمی و مولکولی
دانشگاه: شهید چمران اهواز	دانشکده: علوم	تاریخ فارغ التحصیلی: ۹۲/۰۷/۲۳
تعداد صفحات: ۲۴۰		
کلید واژه‌ها: پرتوهای بسل-گوس، تولید هماهنگ دوم، اثرات گرمایی، عدم تطبیق فاز گرمایی		
چکیده: پرتوهای بسل-گوس به میدان پیرامحوری اطلاق می‌شوند که توزیع عرضی آن‌ها در صفحه‌ی $z = 0$ حاصلضرب یک پرتوی غیرپراشی ایده‌آل (پرتو بسل) که جواب معادله‌ی هلمهولتز دوبعدی در دستگاه مختصات استوانه‌ای دوار است، و یک تابع گاوسی شعاعی است. دلیل این‌که چرا آن‌ها را پرتوهای غیرپراشی می‌نامیم این است که در هنگام انتشار در فضای آزاد، توزیع شدت عرضی آن بدون تغییر باقی می‌ماند. امواج غیرپراشی گستردگی نامتناهی دارند، بنابراین می‌توانند انرژی بینهایت حمل کنند. نوع اصلاح شده‌ی این پرتوها که مقدار متناهی انرژی حمل می‌کنند، پرتوهای شبه غیرپراشی هستند، زیرا آن‌ها می‌توانند مسافت زیادی را بدون واگرایی قابل ملاحظه‌ای طی کنند. این پرتوها دارای خواص و کاربردهای ممتازی هستند که از آن جمله می‌توان به هدایت و تمرکز ذرات باردار یا اتم‌های خنثی، دستکاری‌های نوری ذرات میکرومتری غیر زنده و زنده، توموگرافی همدوس نوری و بررسی سطوح بازتاب کننده با استفاده از روش‌های تداخل سنجی اشاره کرد. همچنین این پرتوها در اپتیک غیرخطی کاربرد دارند. پرتوهای بسلی فمتوثانیه‌ی پر شدت برای اصلاح ضریب شکست گازها و به طریقی مشابه برای نوشتن موجبرهای نوری و میکروفلوئید دیسک‌ها استفاده می‌شوند. در این راستا، پرتوهای با کیفیت و پر شدت دارای اهمیت بسزایی هستند، زیرا در توان‌های بالا، جذب نوری امواج اولیه و هماهنگ دوم می‌تواند فرآیند تولید را تغییر دهند. گرمای تولیدشده در بلور غیرخطی روی تولید هماهنگ دوم از طریق پاشندگی گرمایی تاثیر می‌گذارد و به عدم تطبیق فاز القایی گرمایی می‌انجامد. در چیدمان‌های آزمایشی، عدم تطبیق فاز القایی گرمایی می‌تواند به‌طور موثری بازده تولید هماهنگ دوم را کاهش دهد بطوریکه در هیچ گزارش آزمایشگاهی، بازده کامل نور به نور گزارش نشده است. در این پایان‌نامه، یک مدل نظری برای بررسی اثرات گرمایی در تولید هماهنگ دوم پالسی بسل-گوس نوع دوم ارائه شده است. برای رسیدن به این هدف، معادلات گرما و عدم تطبیق فاز القایی گرمایی با سه معادله‌ی امواج غیرخطی جفت می‌شوند. با حل همزمان پنج معادله‌ی جفت شده - توسط یک کد خودنوشت به زبان فرترن - توزیع دما، عدم تطبیق فاز القایی گرمایی و بازده پرتوها محاسبه می‌شوند. نتایج به خوبی نشان می‌دهد که وقتی سیستم تحت اثرات گرمایی است، تولید هماهنگ دوم چگونه از گرما تاثیر می‌پذیرد و بازده آن تا چه حد کاهش می‌یابد.		

فصل اول: مقدمه

۱-۱ لیزرهای غیرخطی

نور سبز - با طول موج ۵۳۲ نانومتر - که کاربردهای گسترده‌ی پزشکی، مخابراتی و نظامی دارد، در سال‌های اول اختراع لیزر توسط لیزرهای گازی یون آرگون و بخار مس تولید می‌شد. این لیزرها هزینه‌ی ساخت و نگهداری بسیار بالایی دارند. همچنین حجم و وزن بسیار زیاد و نیز بازده اندک دارند. به عنوان مثال یک لیزر یون آرگون برای تولید ۲۰ وات نور سبز، به حدود ۵۰۰۰۰ وات توان الکتریکی به علاوه توان مصرفی منبع خنک‌کننده نیاز دارد!

تبدیل بالاسوی فرکانس^۱ از نور مادون قرمز میانه (۱ تا ۱۰ میکرومتر) برای تولید نور سبز توسط بلورهای حالت جامد غیرخطی، یک رهیافت ارزشمند علمی و اقتصادی است. در این روش، پرتو لیزری مادون قرمز ۱۰۶۴ نانومتر گسیل شده از بلور Nd:YAG توسط یک فرآیند غیرخطی موسوم به تولید هماهنگ دوم^۲ به پرتو لیزری سبز با طول موج ۵۳۲ نانومتر تبدیل می‌شود. بلور غیرخطی مناسب برای این کار، پتاسیم تیتانیل فسفات با فرمول شیمیایی KTiOPO_4 است که به بلور KTP معروف است. این بلور با حجمی حدود ۲۵۰ میلی‌متر مکعب - استوانه‌ای به شعاع دو و طول بیست میلی‌متر - و بازده کوانتومی بالا، یک گزینه‌ی بسیار مناسب برای استفاده‌های علمی و صنعتی است. در چگالی‌های توان دمش کم یا متوسط، این بلور بسیار کارآمد است، زیرا خواص غیرخطی و کیفیت نوری بالای خود را حفظ می‌کند [۱]. در دمش با توان‌های بالا، به دلیل گرم شدن بلور که ناشی از جذب نوری در بلور است، ضرایب شکست با دما تغییر می‌کنند [۲]. بنابراین اگر دمای بلور کنترل نشود، بازده تولید هماهنگ دوم کاهش می‌یابد [۳].

از آنجا که لیزرهای صنعتی، پزشکی، مخابراتی و نظامی عموماً پرتوان هستند، هنگام کار، گرمای زیادی تولید می‌کنند. آثار گرما به دو شکل در سیستم ظاهر می‌شوند [۴]: یکی به صورت گذرا با ناپایدار کردن خروجی هماهنگ دوم و دیگری کاهش بازده نهایی به دلیل ایجاد تغییرات گرمایی-القایی در ضرایب شکست.

بالا رفتن دما و ایجاد شیب دمایی در بلور ادامه‌ی کار را برای لیزر سخت می‌کنند. بالا

^۱ Frequency up conversion

^۲ Second Harmonic Generation

رفتن دما و ایجاد شیب دمایی، دو پدیده‌ی مخرب برای بلور و نیز بازده پدیده‌های غیرخطی هستند [۵]. اگر مقادیر این دو پدیده به درستی شناسایی و کنترل نشوند، هزینه‌ی نگهداری کیفیت خروجی لیزر را چنان بالا می‌برند که تولید لیزر نور سبز از این روش را غیر اقتصادی می‌کند. بنابراین باید ابتدا آثار گرمایی در پدیده‌های نوری غیرخطی را به دقت شناسایی کرد و برای کاهش اثرات مخرب آن‌ها، راه‌حل‌هایی اندیشید.

شیوه‌ی برپایی یک لیزر غیرخطی برای تولید نور سبز معمولاً به این صورت است که ابتدا توسط یکی از منابع لیزری دیودی^۱ یا لامپ‌های درخش^۲ با طول موج مادون قرمز (۰/۷ تا ۱ میکرومتر)، یک بلور لیزری حالت جامد دمیده می‌شود تا نور مادون قرمز نزدیک تولید شود. بلور لیزری جامدی وظیفه‌ی تولید پرتوی اولیه^۳ را بر عهده دارد. منظور از پرتو اولیه، پرتویی است که بعد از تابش به بلور غیرخطی، فرکانس آن دو برابر - یا طول موجش نصف - می‌شود. از این جهت از لیزرهای حالت جامد برای تولید پرتوی اولیه استفاده می‌کنند. بلور لیزر حالت جامد از طریق پدیده‌ی تابش فلورسانس، پرتو دمش را به پرتوی اولیه تبدیل می‌کند. بلور غیرخطی در حال ایده‌آل، تمام انرژی امواج اولیه را به هماهنگ دوم تبدیل می‌کند. ولی در عمل همیشه بخشی از آن به صورت گرما در بلور ته‌نشین می‌شود. اگر کاواک خوب طراحی نشده باشد، بخشی از امواج اولیه نیز در خروجی بلور هنوز حضور دارند.

کاواک‌های تبدیل فرکانس، عموماً به دو روش «درون کاواکی»^۴ و «برون کاواکی»^۵ طراحی می‌شوند. در سیستم‌های درون کاواکی، بلور لیزر حالت جامد و بلور غیرخطی در یک کاواک و پشت سر هم قرار دارند (شکل ۱-۱). آینه‌های این کاواک طوری طراحی شده‌اند که برای امواج اولیه کاملاً بازتاب‌کننده هستند. در این حالت امواج اولیه به دام افتاده و بارها از بلور غیرخطی می‌گذرند و با بالارفتن چگالی انرژی در کاواک، شانس بیشتری برای تبدیل شدن به هماهنگ دوم دارند. برای امواج هماهنگ دوم، آینه‌ی عقبی کاواک کاملاً بازتاب‌کننده و آینه‌ی جلویی مقداری

¹ Diode laser

² Flash lamp

³ Fundamental wave

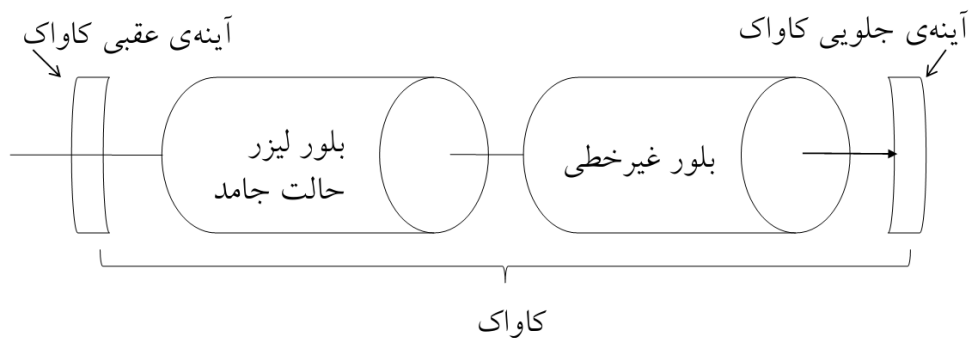
⁴ Intra cavity

⁵ Extra cavity

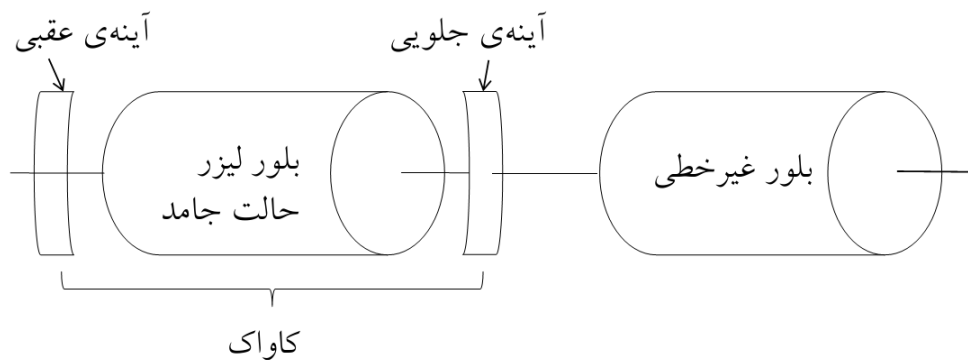
شفافیت دارد؛ در نتیجه همه‌ی پرتوهای هم‌هنگ دوم تولیدشده فقط از آینه‌ی جلوی کاواک خارج می‌شوند. چنین ساختاری بازده تبدیل فرکانس بالایی دارد [۶] اما تنظیم سخت این کاواک‌ها، استفاده‌ی آن‌ها را محدود می‌کند.

در سیستم‌های برون کاواکی (شکل ۱-۲)، بلور لیزری حالت جامد و بلور غیرخطی در کاواک‌های مجزا قرار می‌گیرند. در این حالت تنظیم کل سیستم لیزری آسان‌تر است. اما - بسته به نوع کاواک بلور غیرخطی - پرتوهای اولیه یک یا دو بار می‌توانند از بلور غیرخطی عبور کنند. در نتیجه بازده تبدیل فرکانس کمتر است.

به طور خلاصه سیستم‌های درون کاواکی، چند عبوری هستند ولی سیستم‌های برون کاواکی یک عبوری و یا دو عبوری هستند.



شکل ۱-۱: سیستم درون کاواکی



شکل ۱-۲: سیستم برون کاواکی