



واحد بین الملل

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک - گرایش اپتیک و لیزر

بهره بریلوئن در تقویت کننده های فیبری بریلوئن

و تاثیر ضریب جذب بر روی آن

توسط

مریم حقیقت

استاد راهنما

دکتر حمید نادگران

تیرماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب مریم حقیقت دانشجوی رشته فیزیک گرایش اپتیک و لیزر دانشکده‌ی واحد بین‌الملل دانشگاه شیراز اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان‌نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: مریم حقیقت

تاریخ و امضا: تیر ماه ۱۳۹۰



به نام خدا

بهره بریلوئن در تقویت کننده های فیبری بریلوئن و تاثیر ضریب جذب بر
روی آن

به وسیله ی:

مریم حقیقت

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

فیزیک

از دانشگاه شیراز - واحد بین الملل

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر حمید نادگران، دانشیار بخش فیزیک دانشگاه شیراز (رئیس کمیته)

دکتر عبدالناصر ذاکری، استاد بخش فیزیک دانشگاه شیراز

دکتر محمود حسینی فرزاد، استادیار بخش فیزیک دانشگاه شیراز

تیر ماه ۱۳۹۰

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم؛

که هر آنچه را که بدست آورده‌ام حاصل تربیت مشفقانه، صبر و بردباری و دعای خیر آنها است.

تقدیم به:

سه قلوهای عزیز، ریحانه، علیرضا و مریم سلاخی؛

که تولدشان آغاز فصل جدیدی در زندگانییم بود.

سپاسگزاری

حمد و سپاس به پیشگاه خداوند رحمان و رحیم که هرچه داریم از لطف و عنایت اوست، و هر موفقیتی بر مدار مشیت و اراده آن دانای سبحان است. بر خود لازم می‌دانم از عزیزی که در انجام این پروژه علمی مرا یاری کرده‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی کنم.

- جناب آقای دکتر نادگران که بی‌شک از جمله الگوهای علمی و اخلاقی کشور بوده و مشوق من در ورود به گرایش اپتیک و لیزر بودند و توفیق حضور در کلاس‌های درسشان از جمله افتخارات اینجانب و یافته‌هایم از اپتیک و لیزر نتیجه تدریس و راهنمایی‌های این استاد گرامی است. راهنمایی‌های ارزشمند ایشان در همه مراحل تحقیقاتی‌ام و تصحیح این پایان نامه از جمله امور دیگری است که این بزرگوار با صبر و شکیبایی و خوشرویی قبول زحمت فرموده‌اند.
- جناب آقای دکتر حسینی فرزند که در این رساله استاد مشاور اینجانب بوده و همچنین توفیق استفاده از کلاس‌های درس ارزشمند ایشان در درس لیزر پیشرفته را داشته‌ام.
- جناب آقای دکتر ذاکری که در این رساله بعنوان استاد مشاور قبول زحمت فرمودند و همواره با خوشرویی کامل مشوق اینجانب بوده‌اند.
- جناب آقای دکتر دعوت الحق که بی‌شک نمونه بی‌نظیری از چهره‌های علمی و اخلاقی کشور بوده و از جمله افتخارات اینجانب، توفیق حضور در کلاس‌های درس ارزشمند ایشان در درس مکانیک آماری بوده است. همچنین ایشان به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع اینجانب قبول زحمت فرمودند.

از مدیران بزرگوارم جناب آقای مهندس اکبری و جناب آقای رضی موسوی که صمیمانه همکاری لازم را در خصوص ادامه تحصیل اینجانب داشته اند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. از دوست عزیزم سرکار خانم شیخی که همواره در تمامی مراحل تحصیل مرا یاری کردند، قدردانی می‌کنم. از جناب آقای مهندس رستگار و جناب آقای مهندس مداحی که زحمات و راهنمایی‌های بی‌دریغشان در انجام این پروژه نقش بسزایی داشت، صمیمانه تشکر می‌نمایم. آنچه بیان نشد ولی اساس موفقیت‌م به شمار می‌آید، همراهی صمیمانه خانواده‌ام است که در تمام ایام تحصیل همواره حامی و مشوقم بوده‌اند. از خداوند سبحان برای همگی این عزیزان تقاضای اجر و پاداش را دارم.

چکیده

بهره بریلوئن در تقویت کننده های فیبری بریلوئن
و تاثیر ضریب جذب بر روی آن

به کوشش

مریم حقیقت

پراکندگی القایی بریلوئن یعنی SBS پدیده ای غیر خطی است. زمانی که یک فیبر تحت تاثیر یک پرتوی لیزر همدوس با توان بالا قرار می گیرد، بیشتر انرژی پرتوی لیزر به عقب بازمی گردد که به موج ایجاد شده موج استوکس می گویند. در این پایان نامه، اثرات SBS بر بهره تقویت کننده فیبری بررسی می شود. همچنین، تغییرات سیگنال استوکس بر حسب طول فیبر بررسی خواهد شد. با توجه به اینکه SBS بر عملکرد تقویت کننده های فیبری تاثیر منفی دارد، وابستگی آن بر بهره بریلوئن و تاثیر آن بر عملکرد تقویت کننده نیز بررسی شده است.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه

فصل دوم: فیبر نوری و تقویت کننده های فیبری

۸	..... ۱-۲- فیبر نوری و انواع آن
۸	..... ۱-۱-۲- مقدمه
۱۱	..... ۲-۱-۲- سیستم های مخابرات فیبر نوری
۱۲	..... ۳-۱-۲- فیبرهای نوری نسل سوم
۱۳	..... ۴-۱-۲- فیبر نوری تک مودی استاندارد
۱۴	..... ۱-۲-۱-۴- استانداردهای ITU برای فیبرهای تک مودی
۱۵	..... ۲-۱-۲-۴- کاربردهای فیبر تک مودی
۱۵	..... ۵-۱-۲- فیبر دو غلافی
۱۸	..... ۶-۱-۲- کاربردهای فیبر نوری
۲۰	..... ۲-۲- تقویت کننده های فیبری و کاربردهای آن
۲۰	..... ۱-۲-۲- مقدمه
۲۱	..... ۲-۲-۲- نگاه اجمالی به نحوه عملکرد تقویت کننده های فیبری
۲۴	..... ۳-۲-۲- انواع تقویت کننده فیبری
۲۴	..... ۱-۳-۲-۲- تقویت کننده های فیبری اربوم

۲۴	..... تقویت کننده های فیبری تالیوم ۲-۳-۲-۲
۲۵	..... تقویت کننده های فیبری پراسئودیمیوم ۳-۳-۲-۲
۲۵	..... تقویت کننده های فیبری نئودیمیوم و ایتربیوم ۴-۳-۲-۲
۲۶	..... تقویت کننده های فیبری رامان ۵-۳-۲-۲
۲۶	..... تقویت کننده های فیبری بریلوئن ۶-۳-۲-۲

فصل سوم: پراکندگی

۲۸	..... ۱-۳- مقدمه
۲۹	..... ۲-۳- پراکندگی رامان
۳۰	..... ۳-۲-۱- پراکندگی استوکس و آنتی استوکس
۳۳	..... ۳-۲-۲- پراکندگی القایی و تقویت
۳۳	..... ۳-۲-۳- کاربردهای پراکندگی رامان
۳۴	..... ۳-۳- پراکندگی القایی بریلوئن
۳۷	..... ۳-۳-۱- ویژگی های SBS
۴۰	..... ۳-۳-۲- معادلات SBS
۴۳	..... ۳-۳-۳- SBS در فیبرهای نوری

فصل چهارم: تقویت کننده های فیبری بریلوئن

۴۶	..... ۴-۱- معادلات توان در تقویت کننده های فیبری بریلوئن
	..... ۴-۱-۱- حل دستگاه معادلات توان در تقویت کننده های فیبری بریلوئن به روش شوتینگ
۴۸	..... ۴-۱-۲- حل دستگاه معادلات توان در تقویت کننده های فیبری بریلوئن به روش تقریبی - تحلیلی
۵۱	..... ۴-۱-۳- خلاصه
۵۴	.....

صفحه	عنوان
۵۶	۴-۲- بررسی توان استوکس بازگشتی بر حسب طول با استفاده از داده های تجربی ...
۵۸	۴-۳- محاسبه بهره بریلوئن در تقویت کننده های فیبری
۶۴	۴-۴- ضریب جذب α در فیبرهای دو غلافی و تاثیر آن در بهره تقویت کننده های فیبری

فصل پنجم

۶۹	۵-۱- نتایج و پیشنهادات
۷۲	۵-۲- مراجع
۷۵	۵-۳- پیوست ها

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۳	شکل (۱-۱): شمایی از پراکندگی القایی بریلوئن
۴	شکل (۱-۲): (الف) مولد SBS، (ب) تقویت کننده SBS
۱۰	شکل (۱-۲): شمایی از یک فیبر نوری به همراه طریقه انتقال نور در آن
۱۶	شکل (۲-۲): تقویت کننده فیبری با غلاف پمپ شده مبتنی بر یک فیبر دو غلافی ...
	شکل (۲-۳): تاثیر غلاف داخلی نامتقارن در همپوشانی پرتو با مغزی در فیبر
۱۷	دو غلافی
۱۷	شکل (۲-۴): نمونه های مختلفی از فیبرهای دو غلافی
۱۸	شکل (۲-۵): ساختار یک فیبر کریستال فوتونی به همراه یک غلاف هوا
۲۰	شکل (۲-۶): چیدمان نمایشی یک تقویت کننده فیبری آلانئیده به اربوم ساده
۲۲	شکل (۲-۷): دیاگرام سه ترازه برای Er^{3+} در سیلیکون
	شکل (۲-۸): کاربرد مخابراتی EDFA در حالت کلی هم در حالت پمپ مستقیم و
۲۲	هم در جهت عکس
	شکل (۲-۹): سطح مقطع تابش تحریکی برای فیبرهای آلانئیده به Er^{3+} برای
۲۳	شیشه های میزبان مختلف
۳۱	شکل (۳-۱): احتمال های مختلف از پراکندگی نور مرئی
	شکل (۳-۲): تغییرات زمانی (الف) لیزر فرودی، (ب) موج استوکس، و (ج) لیزر پمپ
۳۶	انتقال یافته در اتیل اتر
۳۷	شکل (۳-۳): (الف) مولد SBS و (ب) تقویت کننده SBS

عنوان

صفحه

- شکل (۳-۴): شکل هندسی پراکندگی بریلوئن. (الف) نمودار دو بردار موج و
۴۰ (ب) ارتباط سه بردار موج
- شکل (۳-۵): مشاهده تجربی برای فیبر به طول ۵/۷۶ متر. (الف) سیگنال های پمپ
۴۴ فرودی و انتقال یافته و (ب) سیگنال استوکس پس پراکنده شده
- شکل (۴-۱): تغییرات توان استوکس بازگشتی بر حسب توان پمپ در انتهای یک
تقویت کننده به طول ۲ km (در $Z = 2 \text{ km}$)، توان پمپ اولیه ۶ dBm و توان
۵۰ استوکس اولیه 10^{-5} dBm
- شکل (۴-۲): نحوه تغییرات توان استوکس بر حسب توان پمپ فرودی برای فیبری به
۵۲ طول $Z = 2 \text{ km}$
- شکل (۴-۳): توان استوکس بازگشتی $P_S(0)$ اندازه گیری شده بر حسب توان پمپ
۵۳ ورودی $P_P(0)$ برای طول های مختلف
- شکل (۴-۴): تغییرات توان استوکس بازگشتی بر حسب توان پمپ در انتهای یک
۵۴ تقویت کننده با استفاده از روش عددی شوتینگ
- شکل (۴-۵): نحوه تغییرات توان استوکس بر حسب توان پمپ فرودی با استفاده از
۵۵ روش تقریبی - تحلیلی
- شکل (۴-۶): توان استوکس بازگشتی $P_S(0)$ اندازه گیری شده بر حسب توان پمپ
۵۵ ورودی $P_P(0)$ برای طول های مختلف
- شکل (۴-۷): توان استوکس بازگشتی بر حسب طول فیبر برای توان های ورودی
۵۷ مختلف
- شکل (۴-۸): تغییرات بهره تقویت کننده بریلوئن بر حسب توان پمپ ورودی
۶۲ بر اساس رابطه (۴-۳۰)
- شکل (۴-۹): تغییرات بهره تقویت کننده بریلوئن بر حسب توان پمپ ورودی
۶۳ بر اساس داده های تجربی
- شکل (۴-۱۰): تغییرات بهره تقویت کننده بریلوئن بر حسب توان seed

- شکل (۴-۱۱): تغییرات توان seed بر حسب توان پمپ ۶۴
- شکل (۴-۱۲): تغییرات بهره برای دو ضریب جذب، بالایی: ضریب جذب وابسته به
طول فیبر، پایینی: ضریب جذب ثابت ۶۶

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۴	جدول (۱-۲): استانداردهای ITU برای فیبرهای تک مود
۳۸	جدول (۱-۳): پارامترهای نمونه برای فرآیندهای پراکندگی رامان، بریلوئن و ریلی
	جدول (۱-۴): داده های تجربی موجود برای نمونه ای از تقویت کننده فیبری بریلوئن،
۶۰	در انتهای فیبر به طول $L = 10 \text{ km}$
	جدول (۲-۴): بهره تقویت کننده بریلوئن محاسبه شده متناظر با داده های تجربی
	موجود برای نمونه ای از تقویت کننده فیبری بریلوئن در انتهای فیبر به طول
۶۱	$L = 10 \text{ km}$

فصل اول

مقدمه

پراکندگی نور در نتیجه تغییرات در خواص اپتیکی ماده، ایجاد می شود. اگر تغییرات خصوصا در ثابت دی الکتریک، باعث شوند پراکندگی نور توسط اثرات نقطه صفر حرارتی یا کوانتوم مکانیکی تحریک شود، "پراکندگی خود به خودی"، و اگر فرآیند پراکندگی نور در اثر تغییرات ایجاد شده توسط یک میدان نوری القا شده تحریک شود، "پراکندگی القایی" نامیده می شود. چنانچه شدت پرتوی فرودی به اندازه کافی بزرگ باشد، در نتیجه فرآیندهای پراکندگی القایی، ۱۰۰٪ نور در مسیری به طول ۱ cm پراکنده خواهد شد [۱].

تحقیق بر روی پراکندگی مولکولی در دهه های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ آغاز شد. امروزه، پراکندگی از فونون های اپتیکی، یعنی ترازهای کوانتیده ناشی از نوسانات شبکه، تحت عنوان فرایند رامان شناخته می شوند، در حالیکه برهمکنش نور با فونون های آکوستیکی بعد از لئون بریلوئن^۱ به این نام خوانده شد. آقای بریلوئن به طور تئوری پراکندگی نور از امواج آکوستیکی برانگیخته شده حرارتی را در ۱۹۲۲ پیش بینی نمود [۲]. گذشته از تحقیقات انجام شده توسط رامان^۲ در هند و بریلوئن در فرانسه، پراکندگی مولکولی توسط لندزبرگ^۳ و مندلسام^۴ در روسیه، اسمکال^۵ در اتریش، و وود^۶ در ایالات متحده نیز بررسی شد. در خصوص بررسی های اولیه انجام شده در آن زمان و نیز اعتبار آن هنوز نیز بحث می شود (به طور مثال برای مشاهده بحث های تاریخی به [۳ و ۴] رجوع کنید).

¹ Léon Brillouin

² Raman

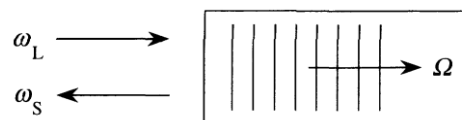
³ Landsberg

⁴ Mandelshtam

⁵ Smekal

⁶ Wood

همان طور که گفته شد، یکی از انواع پراکندگی های القایی، پراکندگی القای بریلوئن^۷ است که به طور نمایشی در شکل (۱-۱) نشان داده شده است، که یک پرتوی لیزر فرودی با فرکانس ω_L را نشان می دهد که از روی تغییرات ضریب شکست همراه شده با یک موج صوتی با فرکانس Ω پراکنده می شود [۱].



شکل ۱-۱. شمایی از پراکندگی القایی بریلوئن.

در این نوع پراکندگی فرکانس نور پراکنده شده به سمت مقادیر کمتر فرکانس استوکس، $\omega_S = \omega_L - \Omega$ ، می رود. علت اینکه چرا این برهم کنش منجر پراکندگی نوری القایی می شود این است که برهم نهی میدان های لیزر و استوکس، مولفه فرکانس را در اختلاف فرکانس $\omega_L - \omega_S$ نگه می دارد، که این فرکانس برابر با فرکانس موج صوتی Ω می باشد. پاسخ دستگاه ماده به این جمله برهم نهی به عنوان منبعی عمل می کند که باعث افزایش دامنه موج صوتی می شود. این برهم کنش ها منجر به رشد نمایی دامنه استوکس می شود.

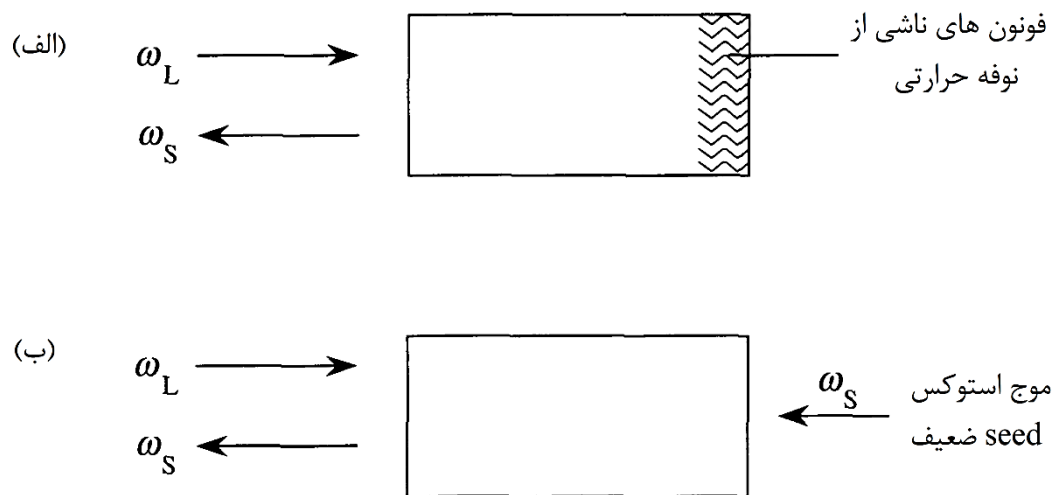
دو مکانیزم فیزیکی مختلف وجود دارد که توسط آن ها برهم نهی امواج لیزر و استوکس می تواند موج آکوستیکی را ایجاد نماید. مکانیزم اول الکتروتنگش^۸ است که در آن ماده در نواحی ای که شدت اپتیکی بالاتر دارند، چگال تر می شود. مکانیزم بعدی، جذب است. به این صورت که گرمای ناشی از جذب در نواحی ای که شدت اپتیکی بالا است باعث می شود مواد موجود در آن ناحیه منبسط گردند. تغییرات چگالی القا شده توسط این اثر، اغتشاش

⁷ Stimulated Brillouin Scattering - SBS

⁸ Electrostriction

آکوستیکی را تحریک می کند. SBS جذبی فقط در محیط هایی که تلفات اپتیکی بالا است رخ می دهد [۱].

در BSB الکتروتنگشی دو حالت متفاوت وجود دارد. یکی مولد SBS و دیگری تقویت کننده SBS. این دو حالت در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.



شکل ۱-۲. (الف) مولد SBS، (ب) تقویت کننده SBS.

در مولد SBS پرتوی لیزر به طور خارجی اعمال می گردد و هر دو میدان آکوستیکی و نوفه از نوفه موجود در ناحیه برهم کنش، رشد می کنند. این مسئله در شکل (۱-۲) قسمت (الف) دیده می شود. نوفه ای که SBS را آغاز می کند، پراکندگی لیزر از روی فونون هایی است که به طور حرارتی ایجاد شده اند. در این نوع SBS، تابش استوکس در فرکانس نزدیک فرکانس هایی که بهره SBS بیشترین مقدار را دارد، ایجاد می شود.

در تقویت کننده SBS هر دو میدان لیزر فرودی و استوکس به طور خارجی اعمال شده اند. این مسئله در قسمت (ب) شکل (۱-۲) نشان داده شده است.