

دانشگاه پیام نور

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک اتمی و مولکولی

دانشکده علوم

گروه علمی فیزیک

عنوان پایان نامه:

اثرات خودسرازیری و پراکندگی رامان درون پالسی در کلیدهای سالیتمونی فوق سریع

مزدوج موازی

استاد راهنما:

دکتر محسن حاتمی

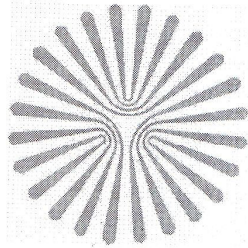
استاد مشاور:

دکتر پرویز الهی

نگارش:

فاطمه کارگر

شهریور 1388



دانشگاه پیام نور
بسمه تعالی

تصویب پایان نامه کارشناسی ارشد


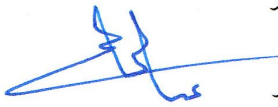

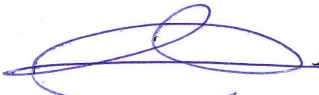
پایان نامه تحت عنوان: " اثرات خودسرازیری و پراکنندگی رامان درون پالسی در کلیدهای سالیتمونی فوق سریع مزدوج موازی " که توسط خانم فاطمه کارگر در مرکز شیراز تهیه و به هیأت داوران ارائه گردیده است مورد تأیید می باشد.

درجه ارزشیابی : عالی

نمره: ۱۹

تاریخ دفاع: ۱۳۸۸/۶/۳۱

اعضای هیأت داوران:

<u>امضاء</u>	<u>مرتبۀ علمی</u>	<u>هیأت داوران</u>	<u>نام و نام خانوادگی</u>
	استادیار	استاد راهنما	۱- دکتر محسن حاتمی
	استادیار	استاد مشاور	۲- دکتر پرویز الهی
	دانشیار	استاد داور	۳- دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی
	دانشیار	نماینده تحصیلات تکمیلی	۴- دکتر حسین توللی

تقدیم به:

پدر و مادرم

آنان که در ساغر وجودشان جز ماده معنویت و مهر و وفا نیست

سپاسگزاری

حال که با عنایت پروردگارم مراحل پایانی دوره کارشناسی ارشد را سپری می‌کنم جا دارد که از تمام کسانی که در پیمودن این مسیر پر پیچ و خم با صبر و شکیبایی بسیار مرا پشتیبانی کرده‌اند قدردانی کنم. بی‌شک نوشتن این پایان نامه بدون راهنمایی‌های همه جانبه‌ی استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر محسن حاتمی که در تمام مراحل یار و پشتیبانم بودند و استاد مشاورم آقای دکتر پرویز الهی میسر نمی‌گشت. همچنین از زحمات دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی مدیر گروه بخش فیزیک که کمال همکاری را در این ایام داشته‌اند قدردانی می‌کنم. اما از آن جا که پیمودن سهل است اگر مسیر هموار باشد، فراهم کردن شرایط مناسب و محیطی آرام خالی از دغدغه‌های فکری را مدیون پدر و مادر مهربان و عزیزم و خواهر و برادرانم می‌باشم که همیشه پشتیبان و مشوقم در تمام سال‌های تحصیلی بوده‌اند.

چکیده

کلیدزنی نوری یک ضرورت برای سیستم‌های مدرن ارتباطی و پایه اصلی ساخت عناصر منطقی و پردازشگرهای تمام نوری محسوب می‌شود. مزدوج موازی غیرخطی¹ به عنوان کلید تمام نوری و عنصر منطقی، پتانسیل زیادی برای طراحی محاسبگرهای اپتیکی و سیستم‌های ارتباطی فوق سریع دارد.

خودسرازیری² نتیجه‌ای از شدت وابسته به سرعت گروه است و منجر به ناتقارنی در پهن‌شدگی طیف توسط خودفازی در پالس‌های با پهنای کم می‌شود. پراکندگی رامان درون پالسی اثراتی شبیه به خودسرازیری دارد.

در این پایان نامه با توسعه معادلات غیرخطی شرودینگر (NLS) برای کلیدهای تمام نوری مزدوج موازی و با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری و پراکندگی رامان درون پالسی در مواد با پاشندگی منفی برای سالیتون‌های روشن و پاشندگی مثبت برای سالیتون‌های تاریک بوسیله روش عددی تلفیق کراک نیکلسون و روش تفاضلی پیشرو رفتار کلید را شبیه‌سازی کرده‌ایم. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که اثرات خودسرازیری و پراکندگی رامان درون پالسی رفتاری مشابه دارند و باعث کاهش دامنه و همچنین باعث افزایش پهنای پالس خروجی می‌شوند و پالس خروجی را به سمت راست انتقال می‌دهند. و بالعکس در طیف فرکانس باعث افزایش دامنه و کاهش طیف فرکانس خروجی می‌شوند و طیف خروجی را به سمت چپ انتقال می‌دهند. این اثرات باعث تغییرات زیادی در انرژی کلیدزنی نمی‌شوند اما با افزایش این اثرات در سالیتون تاریک عمل سوئیچینگ بهتر از سالیتون روشن اتفاق می‌افتد. بنابراین به علت پایداری که سالیتون‌های تاریک نسبت به سالیتون‌های روشن دارند جایگزین مناسبی برای پردازش اطلاعات نسبت به سالیتون‌های روشن هستند.

¹ Nonlinear Directional coupler

² Self steepening

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
فصل اول: اپتیک غیرخطی	
2	1-1 مقدمه
3	2-1 قطبش غیرخطی
8	3-1 ضریب شکست غیرخطی
11	4-1 مدولاسین خودفازی
13	5-1 خود کانونی شدن
فصل دوم: فیبرهای نوری	
15	1-2 مقدمه
16	2-2 ساختار فیبرهای نوری
17	1-2-2 فیبرهای ضریب پله‌ای
18	2-2-2 فیبرهای ضریب درجه‌ای
19	3-2 انتشار مدها در فیبر نوری
23	4-2 پاشندگی فیبر
24	1-4-2 پاشندگی در فیبرهای تک مد
26	5-2 معادله انتشار پالس در فیبر
26	1-5-2 انتشار پالس غیرخطی در فیبر
فصل سوم: سالیتون‌های زمانی	
33	1-3 مقدمه
35	2-3 سالیتون‌های اپتیکی
35	1-2-3 سالیتون اپتیکی فضایی
36	2-2-3 سالیتون اپتیکی زمانی
38	3-3 تشکیل سالیتون‌های زمانی

39	.....	1-3-3 سالیته‌های زمانی روشن
42	.....	2-3-3 سالیته‌های زمانی تاریک
فصل چهارم: اثرات خودسرازیری و پراکنده‌گی رامنِ درون پالسی در کلیده‌های		
فوق سریع مزدوج موازی		
46	.....	1-4 مقدمه
46	.....	2-4 اثرات غیرخطی مرتبه بالاتر بر روی انتشار پالس غیرخطی
50	.....	1-2-4 اثر خودسرازیری
52	.....	2-2-4 اثر پراکنده‌گی رامنِ درون پالسی
54	.....	3-4 سوئیچ مزدوج موازی غیر خطی با سالیته‌ی روشن
84	.....	4-4 سوئیچ مزدوج موازی غیر خطی با سالیته‌ی تاریک
109	.....	5-4 نتایج و پیشنهادات
110	.....	منابع

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
13	شکل 1-1 محیط غیرخطی مرتبه سوم که به عنوان یک عدسی که توان وابسته به شدت از پرتو ورودی را متمرکز می‌کند، عمل می‌کند
16	شکل 1-2 فیبر نوری یک موجبر دی الکتریک استوانه‌ای با شعاع a و ضریب شکست n_1 و پوسته‌ای به شعاع داخلی a و خارجی b و ضریب شکست n_2
17	شکل 2-2 نمونه‌ای از فیبر ضریب پله‌ای نسبت به فاصله شعاعی فیبر
18	شکل 3-2 هندسه و نمایی از فیبر ضریب تدریجی
19	شکل 4-2 نمایی از فیبر ضریب پله‌ای تک‌مد
21	شکل 5-2 (a) نمایی از فیبر ضریب پله‌ای چندمد (b) نمایی از فیبر ضریب تدریجی چند مد
41	شکل 1-3 انتشار پالس $u(0, \tau) = \text{sech}(\tau)$ در فیبر نوری، که نشان می‌دهد که پالس بدون تغییر در طول فیبر منتشر می‌شود
41	شکل 2-3 انتشار پالس $u(0, \tau) = 2\text{sech}(\tau)$ در فیبر نوری، که نشان می‌دهد که پالس خودش را تکرار کرده است
43	شکل 3-3 انتشار یک سالیتون تاریک $u(0, \tau) = \tanh(\tau)$ در یک فیبر نوری که در حین انتشار تغییر نمی‌کند
44	شکل 4-3 انتشار یک سالیتون تاریک $u(0, \tau) = 1.5 \tanh(\tau)$ در یک فیبر نوری که در حین انتشار تغییر نمی‌کند
51	شکل 1-4 انتشار پالس در فیبر با ورودی پالس به صورت $u(0, \tau) = \text{sech}(\tau)$ و $s = 0.2$ که در آن پالس در حین انتشار به سمت راست متمایل شده و اثر خودسرازیری را نشان می‌دهد
52	شکل 2-4 (a) انتشار سالیتون روشن با دامنه $A = 2$ در فیبر بدون در نظر گرفتن اثر خودسرازیری و پراکندگی رامان درون پالسی $s = 0$ و $\tau_R = 0$ (b) نمایش طیف فرکانسی سالیتون روشن در فیبر بدون در نظر گرفتن اثر خودسرازیری و پراکندگی رامان درون پالسی $s = 0$ و $\tau_R = 0$
52	شکل 3-4 (a) انتشار سالیتون روشن با دامنه $A = 2$ در فیبر با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.2$ (b) نمایش طیف فرکانسی سالیتون روشن در فیبر با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.2$

شکل 4-4 (a) انتشار سالیتون روشن در فیبر با دامنه $A = 2$ و با در نظر گرفتن اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.2$ (b) نمایش طیف فرکانسی سالیتون روشن در فیبر با در نظر گرفتن اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.2$ 53

شکل 4-5 نمونه‌ای از یک سوئیچ مزدوج موازی غیرخطی که از دو موجبر که به موازات یکدیگر قرار گرفته‌اند تشکیل شده است. پرتو ورودی وارد موجبر بالا شده و پرتو با توان‌های کم از موجبر پایین خارج می‌شود و پرتو با توان‌های زیاد از موجبر بالا خارج می‌شود 54

شکل 4-6 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 1$ بدون در نظر گرفتن اثرات خودسرازیری، پراکندگی رامان درون پالسی و جفت‌شدگی 55

شکل 4-7 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.1$ و بدون در نظر گرفتن اثرات پراکندگی رامان درون پالسی و جفت‌شدگی 56

شکل 4-8 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.3$ و بدون در نظر گرفتن اثرات پراکندگی رامان درون پالسی و جفت‌شدگی 56

شکل 4-9 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.5$ و بدون در نظر گرفتن اثرات پراکندگی رامان درون پالسی و جفت‌شدگی 57

شکل 4-10 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2.7$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.5$ و بدون در نظر گرفتن اثرات پراکندگی رامان درون پالسی و جفت‌شدگی 57

شکل 4-11 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.1$ و بدون در نظر گرفتن اثرات خودسرازیری و جفت‌شدگی 60

شکل 4-12 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.3$ و بدون در نظر گرفتن اثرات خودسرازیری و جفت‌شدگی 60

شکل 4-13 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.5$ و بدون در نظر گرفتن اثرات خودسرازیری و

- جفت‌شدگی 61
- شکل 4-14 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2.7$ با در نظر گرفتن اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.5$ و بدون در نظر گرفتن اثرات خودسرازیری و جفت‌شدگی 61
- شکل 4-15 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.1$ و پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.1$ و بدون در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی 64
- شکل 4-16 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.3$ و پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.3$ و بدون در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی 64
- شکل 4-17 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.5$ و پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.5$ و بدون در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی 65
- شکل 4-18 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2.5$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.5$ و پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.5$ و بدون در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی 65
- شکل 4-19 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2.7$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.5$ و پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.5$ و بدون در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی 65
- شکل 4-20 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0.1$ و اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0$ در دامنه $A = 2$ رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 69
- شکل 4-21 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0.5$ و اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0$ در دامنه $A = 2$ رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 70
- شکل 4-22 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$

و اثر خودسرازیری $s = 1$ و اثر پراکندگی رامانِ درون پالسی $\tau_R = 0$ در دامنه $A = 2$ رفتار (a) موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 71

شکل 23-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0.5$ و اثر پراکندگی رامانِ درون پالسی $\tau_R = 0$ در دامنه $A = 2.7$ رفتار (a) موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 72

شکل 24-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0$ و اثر پراکندگی رامانِ درون پالسی $\tau_R = 0.1$ در دامنه $A = 2$ رفتار (a) موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 73

شکل 25-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0$ و اثر پراکندگی رامانِ درون پالسی $\tau_R = 0.5$ در دامنه $A = 2$ رفتار (a) موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 74

شکل 26-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0$ و اثر پراکندگی رامانِ درون پالسی $\tau_R = 1$ در دامنه $A = 2$ رفتار (a) موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 75

شکل 27-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0$ و اثر پراکندگی رامانِ درون پالسی $\tau_R = 0.5$ در دامنه $A = 2.7$ رفتار (a) موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 76

شکل 28-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0.1$ و اثر پراکندگی رامانِ درون پالسی $\tau_R = 0.1$ در دامنه $A = 2$ رفتار (a) موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 79

شکل 29-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$

و اثر خودسرازیری $s = 0.3$ و اثر پراکندگی رامانِ درون پالسی $\tau_R = 0.3$ در دامنه $A = 2$ (a) رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 80

شکل 30-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0.5$ و اثر پراکندگی رامانِ درون پالسی $\tau_R = 0.5$ در دامنه $A = 2$ (a) رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 81

شکل 31-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0.5$ و اثر پراکندگی رامانِ درون پالسی $\tau_R = 0.5$ در دامنه $A = 3.2$ (a) رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 82

شکل 32-4 (a) انتشار سالیتون تاریک در فیبر بدون در نظر گرفتن اثر خودسرازیری و پراکندگی رامانِ درون پالسی $s = 0$ و $\tau_R = 0$ (b) نمایش طیف فرکانسی سالیتون تاریک در فیبر بدون در نظر گرفتن اثر خودسرازیری و پراکندگی رامانِ درون پالسی $s = 0$ و $\tau_R = 0$ 85

شکل 33-4 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.1$ و بدون در نظر گرفتن اثرات پراکندگی رامانِ درون پالسی و جفت‌شدگی 85

شکل 34-4 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.3$ و بدون در نظر گرفتن اثرات پراکندگی رامانِ درون پالسی و جفت‌شدگی 86

شکل 35-4 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.5$ و بدون در نظر گرفتن اثرات پراکندگی رامانِ درون پالسی و جفت‌شدگی 86

شکل 36-4 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2.7$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.3$ و بدون در نظر گرفتن اثرات پراکندگی رامانِ درون پالسی و جفت‌شدگی 86

شکل 37-4 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر پراکندگی رامانِ درون پالسی $\tau_R = 0.01$ و بدون در نظر گرفتن اثرات خودسرازیری و

- جفت‌شدگی 89
- شکل 38-4 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.05$ و بدون در نظر گرفتن اثرات خودسرازیری و جفت‌شدگی 89
- شکل 39-4 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.07$ و بدون در نظر گرفتن اثرات خودسرازیری و جفت‌شدگی 90
- شکل 40-4 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2.5$ با در نظر گرفتن اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.05$ و بدون در نظر گرفتن اثرات خودسرازیری و جفت‌شدگی 90
- شکل 41-4 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2.7$ با در نظر گرفتن اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.05$ و بدون در نظر گرفتن اثرات خودسرازیری و جفت‌شدگی 90
- شکل 42-4 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.05$ و پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.05$ و بدون در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی 93
- شکل 43-4 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.07$ و پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.07$ و بدون در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی 93
- شکل 44-4 (a) انتشار پالس و (b) طیف فرکانسی آن در فیبر به طول 1,5 و دامنه $A = 2.7$ با در نظر گرفتن اثر خودسرازیری $s = 0.07$ و پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.07$ و بدون در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی 94
- شکل 45-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0.05$ و اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0$ در دامنه $A = 2$ رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 96
- شکل 46-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0.07$ و اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0$ در دامنه $A = 2$ رفتار

موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 97

شکل 47-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0.1$ و اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0$ در دامنه $A = 2$ (a) رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 98

شکل 48-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0.1$ و اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0$ در دامنه $A = 2.5$ (a) رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 99

شکل 49-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0$ و اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.03$ در دامنه $A = 2$ (a) رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 100

شکل 50-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0$ و اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.05$ در دامنه $A = 2$ (a) رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 101

شکل 51-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0$ و اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.05$ در دامنه $A = 2.5$ (a) رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 102

شکل 52-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0.01$ و اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.01$ در دامنه $A = 2$ (a) رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d) طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 105

شکل 53-4 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$ و اثر خودسرازیری $s = 0.05$ و اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.05$ در دامنه $A = 2$ (a)

رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d)
طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 106

شکل 4-54 رفتار موجبر و طیف فرکانسی آن در کلید نوری با در نظر گرفتن اثر جفت‌شدگی $\kappa = 1$
و اثر خودسرازیری $s = 0.05$ و اثر پراکندگی رامان درون پالسی $\tau_R = 0.05$ در دامنه $A = 2.5$ (a)

رفتار موجبر در موجبر بالا، (b) رفتار موجبر در موجبر پایین، (c) مجموع انرژی دو موجبر، (d)
طیف فرکانسی در موجبر بالا و (e) طیف فرکانسی در موجبر پایین 107

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
58	جدول 4-1 نتایج مربوط به اثر خودسرازیری بر روی پالس‌های ورودی و خروجی سالیتون روشن با در نظر گرفتن $\tau_R = 0$ و $\kappa = 0$
59	جدول 4-2 نتایج مربوط به اثر خودسرازیری بر روی طیف فرکانس‌های ورودی و خروجی سالیتون روشن با در نظر گرفتن $\tau_R = 0$ و $\kappa = 0$
62	جدول 4-3 نتایج مربوط به اثر پراکندگی رامان درون پالسی بر روی پالس‌های ورودی و خروجی سالیتون روشن با در نظر گرفتن $s = 0$ و $\kappa = 0$
63	جدول 4-4 نتایج مربوط به اثر پراکندگی رامان درون پالسی بر روی طیف‌های فرکانس ورودی و خروجی سالیتون روشن با در نظر گرفتن $s = 0$ و $\kappa = 0$
66	جدول 4-5 نتایج مربوط به اثر هم‌زمان خودسرازیری و پراکندگی رامان درون پالسی بر روی پالس‌های ورودی و خروجی سالیتون روشن با در نظر گرفتن $\kappa = 0$
67	جدول 4-6 نتایج مربوط به اثر هم‌زمان خودسرازیری و پراکندگی رامان درون پالسی بر روی طیف‌های فرکانس ورودی و خروجی سالیتون روشن با در نظر گرفتن $\kappa = 0$
77	جدول 4-7 نتایج مربوط به اثر خودسرازیری و پراکندگی رامان درون پالسی بر روی پالس‌های ورودی و خروجی سالیتون روشن با در نظر گرفتن $\kappa = 1$
78	جدول 4-8 نتایج مربوط به اثر خودسرازیری و پراکندگی رامان درون پالسی بر روی فرکانس‌های ورودی و خروجی سالیتون روشن با در نظر گرفتن $\kappa = 1$
83	جدول 4-9 نتایج مربوط به اثر خودسرازیری و پراکندگی رامان درون پالسی بر روی پالس‌های ورودی و خروجی سالیتون روشن با در نظر گرفتن $\kappa = 1$
83	جدول 4-10 نتایج مربوط به اثر خودسرازیری و پراکندگی رامان درون پالسی بر روی فرکانس‌های ورودی و خروجی سالیتون روشن با در نظر گرفتن $\kappa = 1$
87	جدول 4-11 نتایج مربوط به اثر خودسرازیری بر روی پالس‌های ورودی و خروجی سالیتون تاریک با در نظر گرفتن $\tau_R = 0$ و $\kappa = 0$
88	جدول 4-12 نتایج مربوط به اثر خودسرازیری بر روی طیف فرکانس‌های ورودی و خروجی سالیتون تاریک با در نظر گرفتن $\tau_R = 0$ و $\kappa = 0$

- جدول 4-13 نتایج مربوط به اثر پراکندگی رامانِ درون پالسی بر روی پالس‌های ورودی و خروجی سالیتون تاریک با در نظر گرفتن $s = 0$ و $\kappa = 0$ 91
- جدول 4-14 نتایج مربوط به اثر پراکندگی رامانِ درون پالسی بر روی طیف‌های فرکانس ورودی و خروجی سالیتون تاریک با در نظر گرفتن $s = 0$ و $\kappa = 0$ 92
- جدول 4-15 نتایج مربوط به اثر هم‌زمان خودسرازیری و پراکندگی رامانِ درون پالسی بر روی پالس‌های ورودی و خروجی سالیتون تاریک با در نظر گرفتن $\kappa = 0$ 94
- جدول 4-16 نتایج مربوط به اثر هم‌زمان خودسرازیری و پراکندگی رامانِ درون پالسی بر روی طیف‌های فرکانس ورودی و خروجی سالیتون تاریک با در نظر گرفتن $\kappa = 0$ 95
- جدول 4-17 نتایج مربوط به اثر خودسرازیری و پراکندگی رامانِ درون پالسی بر روی پالس‌های ورودی و خروجی سالیتون تاریک با در نظر گرفتن $\kappa = 1$ 103
- جدول 4-18 نتایج مربوط به اثر خودسرازیری و پراکندگی رامانِ درون پالسی بر روی فرکانس‌های ورودی و خروجی سالیتون تاریک با در نظر گرفتن $\kappa = 1$ 104
- جدول 4-19 نتایج مربوط به اثر خودسرازیری و پراکندگی رامانِ درون پالسی بر روی پالس‌های ورودی و خروجی سالیتون تاریک با در نظر گرفتن $\kappa = 1$ 108
- جدول 4-20 نتایج مربوط به اثر خودسرازیری و پراکندگی رامانِ درون پالسی بر روی فرکانس‌های ورودی و خروجی سالیتون تاریک با در نظر گرفتن $\kappa = 1$ 109

فصل اول

اېتیک

غیر خطی

1-1 مقدمه

اگر تمام پدیده‌های فیزیکی اطراف ما خطی بود فیزیک ناتمام و بیشتر زندگی بی‌معنی می‌ماند. خوشبختانه ما در جهان غیرخطی زندگی می‌کنیم. زمانی که خطی کردن فیزیک را زیبا کرد، غیرخطی هیجانی در فیزیک بوجود آورد. اثرات غیرخطی در الکتریسیته و مغناطیس از زمان ماکسول شناخته شده‌اند. در حوزه اپتیک، اپتیک غیرخطی تنها موضوع مهم جالب رایج بعد از اختراع لیزر است. تولید هارمونیک دوم اولین اثر اپتیک غیرخطی است که مشاهده شد. در حالت کلی برهمکنش غیرخطی نور با ماده مسائلی مانند تغییر در خصوصیات اپتیکی محیط انتشاری نور را در بردارد. پس تولید هارمونیک دوم اولین اثر اپتیک غیرخطی مشاهده شده نبوده است. مطمئناً پمپ‌زنی نوری یک پدیده اپتیکی غیرخطی شناخته شده‌ای قبل از ظهور لیزر است. بزرگترین پدیده‌ی اپتیک غیرخطی در سال 1961 کشف شده است. که قبل از آن پیشرفت بزرگی در علم برهمکنش نور با ماده نداشته‌ایم، اما تغییرات انقلابی در تکنولوژی اپتیک به وجود آمده بود. شاید هر فرایند اپتیکی از دو قسمت تشکیل شده باشد، ابتدا نور شدید یک پاسخ غیرخطی در محیط القاء می‌کند، و سپس خواص نوری محیط در مسیر پرتو نوری اپتیکی تغییر کرده و واکنش نشان می‌دهد. که این فرایند به وسیله معادلات ماکسول کنترل شد [1].

فرض خطی بودن محیط اپتیکی نتایج زیر را در پی دارد:

- ویژگی‌های اپتیکی مثل ضریب شکست و ضریب جذب مستقل از شدت نور هستند.
- اصل برهم‌نهی مفهوم اساسی نورشناسی کلاسیک را در بردارد.
- با عبور نور از محیط فرکانس آن نور تغییر نمی‌کند.
- نور با نور نمی‌تواند برهمکنش کند و دو باریکه‌ی نور در محیط مشابهی از محیط اپتیکی خطی بر روی یکدیگر اثر ندارند. بنابراین نور نمی‌تواند نور را کنترل کند.
- کشف لیزر در سال 1960 ما را قادر به بررسی رفتار نور در مواد اپتیکی در شدت‌های بالاتر کرد. تعداد زیادی از آزمایشات انجام شده نشان می‌دهد که محیط اپتیکی در حقیقت رفتار غیر خطی را نشان می‌دهد، مشاهدات زیر نشان دهنده این واقعیت است:
- ضریب شکست و سرعت نور در یک محیط اپتیکی با شدت نور تغییر می‌کند.
- اصل برهم‌نهی نقض می‌شود.
- فرکانس نور هنگام عبور از یک ماده اپتیکی غیرخطی تغییر می‌کند. (مثلاً از قرمز به آبی)

- نور می‌تواند نور را کنترل کند؛ فوتون‌ها برهمکنش دارند.

خطی یا غیرخطی بودن به خصوصیت نور بستگی ندارد بلکه به خصوصیات محیطی بستگی دارد که نور در آن منتشر می‌شود. هنگامی که نور در خلاء حرکت می‌کند رفتار غیرخطی از آن مشاهده نمی‌شود. بنابراین نور با نور فقط در حضور یک محیط می‌تواند بر همکنش نماید. در حقیقت وجود پرتو نورانی در یک محیط می‌تواند خصوصیات محیط را تغییر داده و باعث تغییر در میدان‌های اپتیکی دیگر و یا میدان اولیه شود [2].

در این فصل بطور خلاصه مروری بر اپتیک غیر خطی کرده، و به علت اهمیت اثر غیر خطی کر به معرفی پدیده ضریب شکست غیر خطی و پیامدهای ناشی از اثر کر می‌پردازیم.

2-1 قطبش غیرخطی

وقتی که یک میدان خارجی به یک اتم اعمال می‌شود باعث جابجایی موج‌های حامل درونی شده و اگر شدت میدان زیاد نباشد، یک قطبش خالص الکترونی مانند یک اختلال در ابر الکترونی دیده می‌شود. این اختلال نتیجه‌ی گشتاور دو قطبی میدان القاء شده است که به نوبه خود تبدیل به یک چشمه تابش امواج الکترومغناطیس می‌شود، این امواج تابش شده توسط اتم به موج اولیه اضافه می‌شود، که این مبنای انتشار یک میدان نوری در یک محیط در مقیاس میکروسکوپی است. برای بررسی مقیاس میکروسکوپی احتیاج به اندازه‌گیری ماکروسکوپی داریم. این قطبش مانند جمع ماکروسکوپی گشتاور دو قطبی مجزای میدان القاء شده در هر واحد حجم میدان در نظر گرفته شده تعریف می‌شود.

فرض کنید یک محیط از N ملکول تشکیل شده است که گشتاور دو قطبی میدان القایی ملکول i ام آن \vec{P}_i باشد، در این صورت قطبش محیط برابر است با:

$$\vec{P}(t) = \sum_{i=1}^N p_i(t) \quad (1-1)$$

نتیجه جمع گشتاور دو قطبی مجزای بالا به تقارن ماکروسکوپی محیط بستگی دارد. از آنجایی که قطبش محیط بوسیله میدان الکتریکی خارجی القاء شده است، قطبش هم باید به میدان الکتریکی ارتباط داشته باشد.