



دانشگاه پیام نور
پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته فیزیک اتمی

دانشکده علوم

گروه علمی فیزیک

عنوان پایان نامه:

اثرات جب دو فوتونی و اختلال غیرخطی بر روی برخورد
سالیتون‌های فضایی و یرداری رد محیط غیرخطی

استاد راهنما:

دکتر محسن حاتمی

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی

ماه و سال

مرداد 1388



دانشگاه پیام نور

بسمه تعالی

تصویب پایان نامه

پایان نامه تحت عنوان: اثرات جذب دو فوتونی و اختلال غیرخطی بر روی برخورد سالیتون‌های

فضایی و برداری در محیط غیرخطی

که توسط نجمه بلالی دهکردی در مرکز شیراز تهیه و به هیأت داوران ارائه گردیده است

مورد تأیید می باشد. تاریخ دفاع: ۱۳۸۸/۵/۱۰ شماره: ۱۹/۲ درجه ارزشیابی: عالی

اعضای هیأت داوران:

نام و نام خانوادگی	هیأت داوران	مرتبۀ علمی	امضاء
۱- دکتر محسن حائمی	استاد راهنما	استادیار	
۲- دکتر عبدالرسول قرانسی جهرمی	استاد مشاور	دانشیار	
۳- دکتر پرویز الهی	استاد داور	استادیار	
۴- دکتر حسین توللی	نماینده تحصیلات تکمیلی	دانشیار	





دانشگاه پیام نور

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته فیزیک اتمی و مولکولی

دانشکده علوم-گروه فیزیک

عنوان پایان نامه:

اثرات جذب دو فوتونی و اختلال غیرخطی بر روی برهمکنش سالیتون‌های
فضایی و برداری در محیط غیرخطی کر

استاد راهنما:

دکتر محسن حاتمی

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی

پژوهشگر:

نجمه بلالی دهکردی

مرداد 1388

سپاسگذاری

حمد باد خداوند را که سخنوران در ثنایش فرو مانند و شمارندگان از شمارش نعمت‌هایش عاجز آیند. بدینوسیله از راهنمایی‌های بی شائبه و مفید استاد گرانقدر جناب آقای دکتر محسن حاتمی که مسیر انجام پژوهش حاضر را بر من هموار ساختند و در اجرای همه مراحل پایان نامه همواره مشوق و راهنمای اینجانب بودند، مراتب سپاس و قدردانی خود را ابراز می‌دارم. همچنین از زحمات و راهنمایی‌های استاد مشاور محترم جناب آقای دکتر عبدالرسول قرائتی کمال قدردانی و تشکر را دارم.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که الفبای انسانیت را به من آموختند.

چکیده

در این پایان نامه معادله حاکم بر برخورد سالیته‌های فضایی را در محیط غیرخطی گسترش داده و سپس برخورد بین سالیته‌ها را تحت تاثیر اثرات جذب دو فوتونی مرتبه 2 و 4 در فاز $f=0$ و اثرات جذب دو فوتونی مرتبه 2 و اختلال غیرخطی از مرتبه 4 با روش عددی تکنیک تحلیل سری فوریه شبیه سازی کرده‌ایم. با وجودیکه اثرات جذب دو فوتونی باعث کاهش برهمکنش بین سالیته‌ها و کاهش انرژی شده ولی توانسته‌ایم با در نظر گرفتن مقادیر مختلف پارامتر جذب و تغییر دامنه پالس موج ورودی سالیته‌های فضایی که در برهمکنش شرکت کرده بودند. از یک خروجی به دو خروجی دست یابیم که این نوید دهنده کنترل خروجی بر مبنای تغییرات دامنه ورودی است که میتواند به عنوان یک کلید خود کنترل کننده تمام نوری در مدارهای مجتمع اپتیکی مورد استفاده قرار گیرد. برخورد سالیته‌های برداری را تحت این اثرات و جفت شدگی خطی، با روش عددی شبه طیفی فوریه چند- نمایه و روش عددی تکنیک تحلیل سری فوریه شبیه سازی نمودیم. ولی روش تکنیک تحلیل سری فوریه از دقت بالاتری برخوردار است. قبل از اثرات جذب با افزایش دامنه و جابجایی دامنه دو پالس ورودی توانسته‌ایم به سوئیچ نوری دست پیدا کنیم با افزایش سرعت اولیه سالیته‌ها همدیگر را جذب نموده و از هم دور میشوند به طوریکه برهمکنش دو سالیته برداری همراه با تبادل انرژی است. برخورد سالیته‌های برداری وابسته به سرعت اولیه سالیته و ضریب دگر فازی میباشد. اثرات همزمان جذب دو فوتونی مرتبه 2 و 4 باعث پهن شدگی و در نتیجه همپوشانی دو سالیته برداری همراه با ایجاد سالیته جدید با شدت کم میشود. دو سالیته برداری تحت تاثیر اختلال مرتبه 4 همدیگر را جذب و با کاهش شدت پالسها از یکدیگر دفع میشوند. در این حالت انرژی دو سالیته کاهش پیدا می‌کند. اثرات همزمان جذب و اختلال باعث جذب دو سالیته شده به طوری که بعد از جذب همدیگر را دفع میکنند. هر چقدر مقدار این ضرایب افزایش یابد شدت دامنه خروجی سالیته‌ها بیشتر کاهش پیدا می‌کند.

فصل اول: اپتیک غیر خطی و فیبر نوری

2	..... 1- مقدمه
2	..... 1-1 محیط اپتیکی غیر خطی
4	..... 2-1 توصیفی از برهمکنش‌های غیر خطی
4	..... 1-2-1 تولید هماهنگ دوم
8	..... 2-2-1 تولید هماهنگ سوم
9	..... 3-1 ضریب شکست و جذب غیر خطی
12	..... 1-3-1 مدولاسیون خودفازی و عدد با ارزش
14	..... 2-3-1 خود تمرکز کنندگی
15	..... 2- فیبر نوری
15	..... 1-2 انتشار مدها در فیبر نوری
20	..... 2-2 تعداد مدهای انتشار
22	..... 3- پراش نور
23	..... 1-3 تبدیل فوریه برای میدان دور
25	..... 2-3 پراش فرانهوری
26	..... 3-3 پراش فرنلی

فصل دوم: سالیتون‌های فضایی

28	..... 2- مقدمه
28	..... 1-2 مفاهیم اساسی
30	..... 2-2 معادله شرودینگر غیر خطی
31	..... 3-2 سالیتون‌های محیط غیر کر
32	..... 1-3-2 غیر خطی بودن رقابتی
32	..... 4-2 سالیتون فضای روشن
37	..... 5-2 ناپایداری مدولاسیون
38	..... 6-2 پایداری سالیتون و مدهای درونی

42 7-2 معیار پایداری

فصل سوم: سالیتون‌های برداری

44 3- مقدمه

44 1-3 سالیتون‌های جفت شده ب صورت ناهمدوس

44 1-1-3 معادلات غیرخطی جفت شد

48 2-1-3 القاء سالیتون توسط موجبر

49 2-3 سالیتون‌های جفت شده به صورت همدوس

49 1-2-3 معادلات شرودینگر غیرخطی جفت شده به صوت همدوس

52 2-2-3 راه‌حل‌هایی که شکل سالیتون برداری را حفظ می‌کنند

فصل چهارم: برخورد سالیتون‌های فضایی

55 4- مقدمه

55 1-4 برخورد سالیتون‌های کر

57 2-4 برخورد سالیتون‌های غیر کر

58 3-4 جذب دو فوتونی

59 4-4 اثرات جذب دو فوتونی بر روی برخورد سالیتون‌های فضایی

63 1-4-4 نتایج مربوط به جذب دو فوتونی

63 5-4 اثرات اختلال و جذب دو فوتونی بر روی برخورد سالیتون‌های فضایی

فصل پنجم: برخورد سالیتون‌های برداری

68 5- مقدمه

68 1-5 برخورد سالیتون‌های برداری

69 2-5 اصل تغییر پذیری و ساختار چند- نمایه سیستم شرودینگر غیرخطی جفت شده

70 3-5 جداسازی طیفی سیستم شرودینگر غیرخطی جفت شده

71 4-5 نتایج مربوط به قبل از اثرات جذب دو فوتونی

77 5-5 نتایج مربوط به بعد از اثرات جذب دو فوتونی

80 6-5 نتایج مربوط به اثرات جذب دو فوتونی و اختلال غیرخطی

83	جدول 1-5.....
84	جدول 2-5.....
85	جدول 3-5.....
86	7-5 نتیجه گیری.....
88	پیوست الف.....
90	پیوست ب.....
95	پیوست ج.....
97	پیوست د.....
99	منابع.....

اشکال

5	شکل 1-1: تولید هماهنگ دوم.....
7	شکل 2-1: تولید فرکانس تفاضل.....
8	شکل 3-1: تولید هماهنگ سوم.....
14	شکل 4-1: محیط غیرخطی مرتبه سوم که به عنوان عدسی عمل میکند.....
16	شکل 5-1: فیبر نوری.....
21	شکل 6-1: تعداد مدهای انتشار.....
22	شکل 7-1: نمایی از الگوی پراش.....
23	شکل 8-1: دامنه مختلط امواج تخت.....
25	شکل 9-1: عبور موج از یک روزنه و ایجاد پراش.....
29	شکل 1-2: نمایشی اجمالی از شباهت عدسی به سالیتون فضای.....
34	شکل 2-2: انتشار سالیتون فضایی در محیط غیرخطی کر.....
38	شکل 3-2: طیف بهره.....
41	شکل 4-2: نمایشی از ناپایداری سالیتون.....
56	شکل 1-4: برهمکنش دو سالیتون در محیط غیرخطی کر.....
58	شکل 2-4: برخورد دو سالیتون در سه فاز متفاوت.....
59	شکل 3-4: فرایند جذب دو فوتونی.....
61	شکل 4-4: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون در محیط غیرخطی غیر کر.....
61	شکل 5-4: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون در محیط غیرخطی غیر کر.....
62	شکل 6-4: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون در محیط غیرخطی غیر کر.....
62	شکل 7-4: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون در محیط غیرخطی غیر کر.....
62	شکل 8-4: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون در محیط غیرخطی غیر کر.....

- شکل 4-9: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون در محیط غیرخطی غیر کر 63
- شکل 4-10: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون در محیط غیرخطی غیر کر 63
- شکل 4-11: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون در محیط غیرخطی غیر کر بعد از اثر اختلال .. 64
- شکل 4-12: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون در محیط غیرخطی غیر کر بعد از اثر اختلال .. 64
- شکل 4-13: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون در محیط غیرخطی غیر کر بعد از اثر اختلال
و جذب دو فوتونی 65
- شکل 4-14: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون در محیط غیرخطی غیر کر بعد از اثر اختلال
و جذب دو فوتونی 65
- شکل 4-15: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون در محیط غیرخطی غیر کر بعد از اثر اختلال
و جذب دو فوتونی 66
- شکل 5-1: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی کر 73
- شکل 5-2: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی کر 73
- شکل 5-3: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی کر 74
- شکل 5-4: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی کر 74
- شکل 5-5: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی کر 75
- شکل 5-6: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی کر 75
- شکل 5-7: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی کر 75
- شکل 5-8: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی کر 76
- شکل 5-9: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی کر 76
- شکل 5-10: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی کر 76
- شکل 5-11: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی کر 77
- شکل 5-12: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی غیر کر
بعد از اثر جذب دو فوتونی 78
- شکل 5-13: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی غیر کر
بعد از اثر جذب دو فوتونی 78
- شکل 5-14: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی غیر کر
بعد از اثر جذب دو فوتونی 79
- شکل 5-15: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی غیر کر
بعد از اثر جذب دو فوتونی 79
- شکل 5-12: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی غیر کر
بعد از اثر جذب دو فوتونی 78

79	شکل 5-16: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی غیر کر بعد از اثر جذب دو فوتونی.....
80	شکل 5-17: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی غیر کر بعد از اثر جذب دو فوتونی.....
81	شکل 5-18: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی غیر کر بعد از اثر جذب دو فوتونی و اختلال غیرخطی.....
81	شکل 5-19: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی غیر کر بعد از اثر جذب دو فوتونی و اختلال غیرخطی.....
82	شکل 5-20: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی غیر کر بعد از اثر جذب دو فوتونی و اختلال غیرخطی.....
82	شکل 5-21: شدت و انرژی برهمکنش دو سالیتون برداری در محیط غیرخطی غیر کر بعد از اثر جذب دو فوتونی و اختلال غیرخطی.....

فصل اول

اپتیک غیر خطی و فیبر نوری

قبلا تصور می‌شد که محیط‌های اپتیکی خطی هستند و با فرض خطی بودن محیط، ویژگی‌های اپتیکی، مانند ضریب شکست و ضریب جذب، مستقل از شدت نور در نظر گرفته می‌شد. همچنین فرکانس نور با عبور از محیط خطی تغییر نمی‌کند و دو باریکه نوری با فرکانس متفاوت در یک محیط بر روی هم نثری ندارند. سرانجام تعداد زیادی از آزمایشات نشان داد که در محیط‌های اپتیکی که رفتار غیرخطی دارند، ضریب شکست و سرعت نور با شدت نور تغییر می‌کند و نور با عبور از یک ماده اپتیکی غیرخطی می‌تواند فرکانس نور را تغییر دهد. بنابراین خطی بودن یا غیرخطی بودن به خصوصیات نور بستگی ندارد بلکه به خصوصیات محیط غیرخطی بستگی دارد که نور در آن منتشر می‌شود. وقتی نور در فضای آزاد انتقال می‌یابد، رفتار غیرخطی آن نشان داده نمی‌شود به طوری که نور با نور فقط در حضور یک محیط می‌تواند برهمکنش نماید. در واقع وجود پرتو نورانی در یک محیط می‌تواند خصوصیات محیط را تغییر دهد و باعث تغییر در میدان اپتیکی دیگر و یا میدان اولیه شود. شروع مباحث مربوط به اپتیک غیر خطی به سال 1960 یعنی سال اختراع لیزر توسط میمن^[2] برمی‌گردد. نور لیزر با شدت زیاد می‌تواند خواص اپتیکی محیط را تغییر دهد. پس به طور کلی اپتیک غیرخطی مطالعه بر همکنش نور با شدت زیاد و ماده می‌باشد. در این فصل به طور خلاصه مروری بر اپتیک غیرخطی کرده، بر همکنش‌های اپتیک غیرخطی را به طور مختصر بیان نموده سپس به بررسی فیبرهای نوری، خصوصیات اپتیکی و مدهای منتشره در آنها و پراش می‌پردازیم و سرانجام ابزار لازم را برای گسترش معادلات ماکسول در محدوده رفتارهای غیر خطی امواج الکترو مغناطیس معرفی می‌کنیم.

1-1 محیط اپتیکی غیر خطی :

هنگامی که یک میدان خارجی به یک اتم اعمال می‌شود باعث جابه‌جایی بارهای الکتریکی شده و چنانچه شدت میدان زیاد نباشد یک قطبش خطی الکترونی به علت اختلال در ابرالکترونی ایجاد می‌گردد. این اختلال باعث القای یک دو قطبی الکتریکی شده که به نوبه خود تبدیل به یک چشمه امواج الکترومغناطیسی می‌شود.

1- Meyman

این موج تابش شده توسط اتم به موج اولیه اضافه میشود و منجر به انتشار یک میدان نوری در یک محیط در مقیاس میکروسکوپی میشود. یک محیط دی الکتریک خطی توسط یک رابطه خطی بین شدت قطبش و میدان الکتریکی به صورت $\vec{P} = \epsilon_0 c \vec{E}$ توصیف می گردد که ϵ_0 ثابت گذر دهی خلأ و c ثابت پذیرفتاری الکتریکی محیط است. وقتی N تعداد گشتاور دوقطبی و گشتاور دوقطبی اتم هم p باشد، در این صورت چگالی قطبش $P = Np$ ناشی از گشتاور دوقطبی p است و خود گشتاور دو قطبی از اعمال میدان الکتریکی القاء شده E ایجاد می گردد.. هرگاه E کوچک باشد رابطه بین p و E خطی است. اما وقتی مقادیر E قابل مقایسه با میدانهای الکتریکی داخل اتمها باشد (به عنوان نمونه 10^5 تا 10^8 V/m) باشد، این رابطه غیرخطی است. حال با فرض اینکه یک محیط از N مولکول تشکیل شده و گشتاور دوقطبی مولکول i ام آن \vec{p}_i باشد، در این صورت قطبش محیط (تعداد گشتاور دو قطبی در واحد حجم) برابر است با مجموع زیر:

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

نتیجه جمع به خواص، تقارن میدان و محیط الکتریکی خارجی اعمال شده بستگی دارد. در هر حالتی که شدت میدان زیاد باشد قطبش با میدان به صورت غیرخطی ارتباط پیدا میکند که به صوت زیر نوشته میشود:

$$\vec{P}(t) = a_1 \vec{E}(t) + \frac{1}{2} a_2 \vec{E}^2(t) + \frac{1}{6} a_3 \vec{E}^3(t) + \dots \quad (2-1-1)$$

که ضریبهای a_3, a_2, a_1 مشتقات اول، دوم و سوم P نسبت به E در $E=0$ میباشد. این ضریبها، ثابتهای مشخص در محیط هستند. جمله اول رابطه خطی است که ضریب آن به صورت $a_1 = \epsilon_0 c$ می باشد و c ثابت پذیرفتاری خطی است و به ثابت دی الکتریک و ضریب شکست $n^2 = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = 1 + c$ مربوط میشود. نسبت $\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ ثابت دی الکتریک نام دارد جمله دوم و سوم به ترتیب غیرخطی بودن مرتبه دو و سه را نشان می دهند و به صورت زیر بیان می شوند:

$$a_1 = e_0 c, d = \frac{1}{4} a_2, c^{(3)} = \frac{1}{24} a_3 \quad (3-1-1)$$

بنابراین داریم:

$$\mathbf{P} = e_0 c \mathbf{E} + 2d \mathbf{E}^2 + 4c^{(3)} \mathbf{E}^3 + \dots = \mathbf{P}^{(1)}(t) + \mathbf{P}^{(2)}(t) + \mathbf{P}^{(3)}(t) + \dots \quad (4-1-1)$$

$$\mathbf{P} = e_0 (c \mathbf{E} + c^{(2)} \mathbf{E}^2 + c^{(3)} \mathbf{E}^3 + \dots) = \mathbf{P}^{(1)}(t) + \mathbf{P}^{(2)}(t) + \mathbf{P}^{(3)}(t) + \dots \quad (5-1-1)$$

مقادیر ضریب غیرخطی مرتبه دو d برای نیم‌رساناهای کریستال دی‌الکتریک و مواد عالی در کاربردهای فوتونیک در محدوده 10^{-24} تا $d = 10^{-21}$ (بر حسب واحدهای $MKS, A-s/V^2$) استفاده می‌شود [1].
مقادیر ضریب غیرخطی مرتبه سوم $c^{(3)}$ برای شیشه‌ها، کریستالها، نیم‌رساناها، شیشه‌های ناخالص نیم-رسانا ماده‌های آلی در فوتونیک در محدوده 10^{-29} تا $c^{(3)} = 10^{-3}$ (بر حسب واحدهای $MKS, A-s/V^2$) استفاده می‌شود.

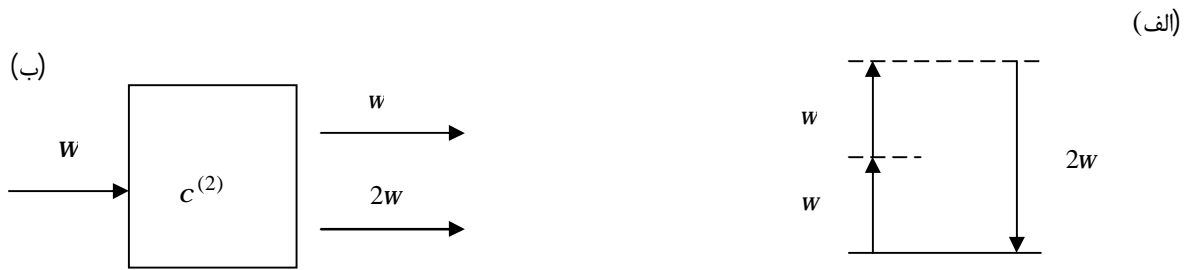
2-1 توصیفی از برهمکنش‌های اپتیکی غیرخطی

در این قسمت، برخی از برهمکنش‌های اپتیکی غیرخطی را بیان می‌کنیم. بعلاوه، برای فرایندهایی که در یک محیط کم‌افت رخ می‌دهد، نشان می‌دهیم که چگونه می‌توانند بر حسب عناصر غیرخطی قطبش در معادله (4-1-1) توصیف گردند.

1-2-1 تولید هماهنگ دوم¹

به عنوان یک مثال از برهمکنش اپتیکی غیرخطی، فرایند تولید هماهنگ دوم را که در شکل 1-1 نشان داده شده بررسی می‌کنیم.

1- Second-harmonic generation



شکل 1-1: (الف) توصیفی از سطح انرژی تولید هماهنگ دوم (ب) طرحواره‌ای از تولید هماهنگ دوم

در این جا یک باریکه‌ی لیزری وارد شده به یک کریستال را با ثابت پذیرفتاری مرتبه 2 که میدان الکتریکی‌اش با فرکانس زاویه ای w (طول موج $I_0 = 2pc_0/w$) به صورت زیر نشان داده شده در نظر می‌گیریم:

$$\mathbf{E}(t) = Ee^{-iwt} + c.c \quad (1-2-1)$$

قطبش ایجاد شده در چنین کریستالی بر طبق چنین میدانی بصورت $\mathbf{P}^{(2)}(t) = c^{(2)}E^2(t)$ یا به صورت زیر می‌باشد:

$$\mathbf{P}^{(2)}(t) = 2c^{(2)}EE^* + (c^{(2)}E^2e^{-2wt} + c.c) \quad (2-2-1)$$

در معادله (2-2-1)، $c.c$ به معنی همیوگ مختلط است. این معادله یک مؤلفه با فرکانس $2w$ (جمله دوم) دارد که یک میدان اپتیکی با فرکانس $2w$ تابش می‌کند.

جمله اول هم مطابق چگالی قطبش در حالت پایا (تغییر زمانی نداریم) است که یک پتانسیل dc در طول ماده غیرخطی ایجاد میکند. ولتاژ dc ایجاد شده توسط میدان اپتیکی شدید، یکسوکنندگی اپتیکی را نشان می‌دهد. یک استفاده رایج از تولید هماهنگ دوم، تبدیل خروجی یک لیزر با فرکانس ثابت به یک ناحیه طیفی متفاوت است. به عنوان مثال تولید هماهنگ دوم در کریستالهای کپه‌ای و موجبرها که نور

مادون قرمز را به نور مرئی و نور مرئی را به ماوراء بنفش تبدیل میکند. تولید هماهنگ را می توان با بررسی برهمکنش برحسب تبادل فوتونها بین مؤلفه های فرکانسی مختلف تصور کرد. همانطور که در قسمت (الف) شکل 1-2-1 نشان داده شده است دو فوتون با فرکانس w نابود شده و به طور همزمان یک فوتون با فرکانس $2w$ در یک ناحیه کوانتومی خاص ایجاد می کنند. خط توپر در شکل حالت پایه اتمی را نشان می دهد و خطوط خط چین به عنوان ترازهای مجاز انرژی شناخته شده اند. این ترازها، ترازهای ویژه انرژی اتم آزاد نیستند، اما انرژی ترکیب شده یکی از ویژه حالت های انرژی اتم و یک یا چند فوتون از میدان تابیده شده را نشان می دهند. هرگاه میدان الکتریکی وارد شده به یک محیط غیر خطی که با ثابت پذیرفتاری $c^{(2)}$ توصیف می گردد، شامل دو مؤلفه فرکانسی خاص باشد، به شکل زیر نشان داده می شود:

$$\mathbf{E}(t) = \mathbf{E}_1 e^{-i w_1 t} + \mathbf{E}_2 e^{-i w_2 t} + c.c \quad (3-2-1)$$

بنابراین قطبش غیرخطی برای چنین میدانی به صورت زیر تعیین می گردد:

$$\mathbf{P}^{(2)}(t) = c^{(2)} \left[E_1^2 e^{-2i w_1 t} + E_2^2 e^{-2i w_2 t} + 2E_1 E_2 e^{-i(w_1 + w_2)t} + c.c \right] + 2c^{(2)} \left[E_1 E_1^* + E_2 E_2^* \right] \quad (4-2-1)$$

این نتایج را به صورت $\mathbf{P}^{(2)}(t) = \sum_n P(w_n) e^{-i w_n t}$ هم میتوان بیان کرد. که جمع برای تمام فرکانسهای مثبت و منفی w_n در نظر گرفته میشود. دامنه های مختلط مؤلفه های فرکانسی قطبش غیرخطی بصورت

$$P(2w_1) = c^{(2)} E_1^2 \quad (SGH) \quad (5-2-1)$$

$$P(2w_2) = c^{(2)} E_2^2 \quad (SGH) \quad (6-2-1)$$

$$P(w_1 + w_2) = 2c^{(2)} E_1 E_2 \quad (SFG) \quad (7-2-1)$$

$$P(w_1 - w_2) = 2c^{(2)}E_1E_2^* \quad (DFG) \quad (8-2-1)$$

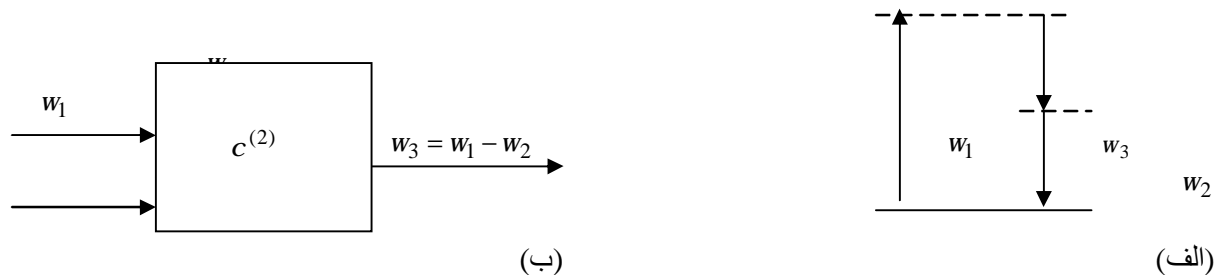
$$P(0) = 2c^{(2)}(E_1E_1^* + E_2E_2^*) \quad (OR) \quad (9-2-1)$$

تعیین می گردند. در این جا ، هر عبارتی را با نام فرایند فیزیکی مربوط به آن نشانه گذاری کردیم. از قبیل تولید همهانگ دوم (SHG)، تولید فرکانس جمع (SFG)، تولید فرکانس تفاضل (DFG) و یکسوکنندگی اپتیکی (OR). روابط بالا برای فرکانسهای غیرصفر و منفی به صورت مزدوج مختلط میباشد.

$$r(-w_1 - w_2) = 2c^{(2)}E_1^{*2}E_2^{*2} \quad , \quad r(w_2 - w_1) = 2c^{(2)}E_2E_1^* \quad (10-2-1)$$

$$P(-2w_1) = c^{(2)}E_1^{*2} \quad , \quad P(-2w_2) = c^{(2)}E_2^{*2} \quad (11-2-1)$$

معادله (7-2-1) فرایند تولید فرکانس جمع را توصیف می کند. این فرایند مانند تولید همهانگ دوم است با این تفاوت که در تولید فرکانس جمع ، دو موج خروجی در فرکانسهای متفاوت قرار دارند. یکی از کاربردهای تولید فرکانس جمع، تولید تابش قابل تنظیم در ناحیه طیفی ماوراء بنفش با انتخاب یکی از امواج ورودی است که خروجی آن یک لیزر مرئی با فرکانس ثابت و از طرفی دیگر خروجی یک لیزر مرئی با فرکانس قابل تنظیم می باشد فرایند تولید فرکانس تفاضل توسط معادله (8-2-1) بیان میگردد. این فرایند در شکل 2-1 نشان داده شده است. تولید فرکانس تفاضل میتواند برای تولید تابش قابل تنظیم مادون قرمز از طریق آمیختن خروجی لیزر مرئی با فرکانس قابل تنظیم و لیزر مرئی با فرکانس ثابت به کار رود. مطابق قسمت (الف) شکل 2-1 ، اصل بقای انرژی برای هر فوتونی که در فرکانس تفاضل $w_3 = w_1 - w_2$ ایجاد می گردد، مورد نیاز است به طوری که یک فوتون در بالاترین فرکانس ورودی (w_1) ناپود شود و یک فوتون در پایین ترین فرکانس ورودی ایجاد گردد.



شکل 2-1: تولید فرکانس تفاضل (الف) توصیفی از سطح انرژی (ب) طرحواره‌ای از برهمکنش تولید فرکانس تفاضل

بنابراین میدان ورودی پایین ترین فرکانس توسط این فرایند تقویت می شود. بر اساس این فرایند اتم ابتدا یک فوتون در فرکانس w_1 را جذب و به تراز مجاز بالاتر می‌رود، این تراز توسط فرایند نشر دو فوتونی که توسط میدان با فرکانس w_2 برانگیخته شده، متلاشی می‌شود. نشر دو فوتونی، حتی اگر میدانی با فرکانس w_2 اعمال نشود، اتفاق می‌افتد [2].

2-2-1 تولید هماهنگ سوم

مؤلفه مرتبه سوم برای قطبش غیرخطی به صورت زیر است:

$$\mathbf{P}^{(3)}(t) = c^{(3)} \mathbf{E}^3(t) \quad (12-2-1)$$

است. با توجه به اینکه میدان $\mathbf{E}(t)$ از چندین مؤلفه فرکانسی مختلف ساخته شده، بدست آوردن $\mathbf{P}^{(3)}(t)$ بسیار پیچیده می‌شود. به همین دلیل ابتدا حالت ساده‌ای که میدان اپتیکی تکفام است و به صورت $\mathbf{E}(t) = e \cos wt$ نوشته می‌شود را بررسی می‌کنیم. با توجه به اینکه $\cos^3 wt = \frac{1}{4} \cos 3wt + \frac{3}{4} \cos wt$ است، قطبش غیرخطی می‌تواند به صورت زیر بیان شود.

$$\mathbf{P}^{(3)}(t) = \frac{1}{4} c^{(3)} e^3 \cos 3wt + \frac{3}{4} c^{(3)} e^3 \cos wt \quad (13-2-1)$$

در این معادله جمله اول واکنشی را در فرکانس $3w$ توصیف می‌کند که منجر به یک میدان اعمال شده در فرکانس w می‌شود و در واقع منجر به فرایند تولید هماهنگ سوم می‌گردد. این فرایند در شکل 3-1 نشان داده شده است. در قسمت (الف) شکل 3-1، سه فوتون در فرکانس w نابود شده و یک فوتون در فرکانس $3w$ ایجاد می‌شود.