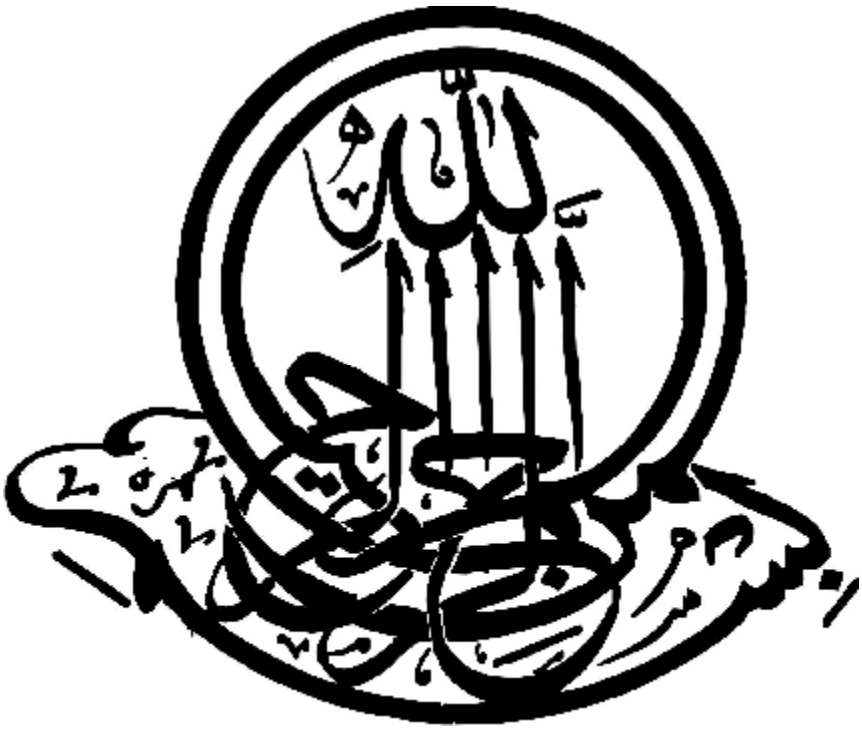

دانشگاه لرستان
دانشکده علوم پایه
گروه فیزیک

عنوان:

بررسی انتشار امواج سالیتونی در محیطهای دی الکتریک غیرخطی از نوع کر حالت مختلط

نگارش:
مهتاب طهماسیان چگنی

استاد راهنما:
دکترسالار باهر
(دانشیار)

استاد مشاور:
دکترعلی بهاری
(استادیار)

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته فیزیک ماده چگال (گرایش نظری)

اسفند ماه 87

چکیده پایان نامه

نام خانوادگی: طهماسیان چگنی نام: مهتاب

عنوان پایان نامه: بررسی انتشار امواج سالیتونی در محیطهای دی الکتریک غیرخطی از نوع کر حالت مختلط

استاد راهنما: دکتر سالار باهر

درجه تحصیلی : دکترای تخصصی رشته: فیزیک گرایش: حالت جامد

استاد مشاور: دکتر علی بهاری

درجه تحصیلی: دکتری رشته: فیزیک گرایش: مولکولی - اتمی

محل تحصیل(دانشگاه) : دانشگاه لرستان دانشکده: علوم پایه گروه آموزشی: فیزیک

تاریخ فارغ التحصیلی: 87/12/12 تعداد صفحه:105

چکیده :

در این تحقیق انتشار امواج الکترومغناطیسی با قطبش s (مد TE) ، در امتداد فصل مشترک دو محیط مختلف خود- متمرکز غیر خطی نوع کر، مورد بررسی قرار می گیرد. برای توصیف انتشار این مدها در چنین محیطی از معادله غیرخطی شرودینگر استفاده می شود. جوابهای مربوط به دامنه موج الکتریکی منجر به شکل مانای معادله غیر خطی شرودینگر می شود. با در نظر گرفتن دامنه میدان مختلط، معادله غیرخطی شرودینگر به معادله ای تبدیل می شود که در این پایان نامه مورد نظر است. برای استفاده از تحلیل کیفی و تعبیر مکانیکی معادلات دیفرانسیلی، روش صفحه فاز به کار برده شده است. امواج الکترومغناطیس TE می توانند در فصل مشترک بین دو محیط نیمه بینهایت منتشر شوند. چنانچه یکی از دو محیط، خود – متمرکز غیر خطی(نوع کر) باشد، در این صورت پاسخهای معادله ای که بازای دامنه میدان مختلط از معادله شرودینگر بدست می آید با اعمال شرایطی خاص، منجر به مدهای ویژهای می شوند که سالیتونهای فضایی نامیده می شوند.

چکیده پایان نامه

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه 1

فصل اول :مفاهیم وروابط اساسی

1-1 میدانهای ماکروسکوپی ومعادلات ماکسول 3
2-1 معادله موج الکترومغناطیس 5
3-1 بردار پویین تینگ 7
4-1 محیط های دی الکتریک 7
5-1 نظریه اپتیک غیرخطی 8
1-5-1 اثر کر 11
2-5-1 اثر خود متمرکز 15

فصل دوم : انتشار امواج *TE* و *TM*در موجبرها

1-2 موجبر چیست؟ 18
2-2 امواج *TE* و امواج *TM* 19
3-2 امواج در ناحیه های مرزدار 20
1-3-2 انعکاس و شکست در مرز دو محیط نارسانا 20
2-3-2 فرود مایل 22
4-2 موجبرها 26
1-4-2 انتشار بین دو صفحه رسانا 26
2-4-2 موجبرهای مستطیلی 29
3-4-2 موجبرهای دی الکتریک 35

فصل سوم : نظریه عمومی سالیتونها

1-3 مدلهای غیر خطی 40

2-3 معادلات خطی و غیرخطی 41
3-3 امواج سولیتاری 47
4-3 سالیتونها 51
5-3 روش پراکندگی وارون 53
1-5-3 تحول زمانی داده های پراکندگی 57
6-3 پاسخهای تک سالیتونی و دو سالیتونی 62
7-3 سالیتونهای اپتیکی 67
8-3 سالیتونهای اپتیکی فضایی ..... 69.
9-3 معادله غیرخطی شرودینگر 70
1-9-3 سالیتونهای فضایی روشن و تاریک 72

فصل چهارم : انتشار مدهای الکترو مغناطیسی با قطبیدگی s در لایه های نازک دی الکتریک غیر خطی از نوع کر

1-4 معادله موج در یک محیط غیر خطی از نوع کر 75
1-1-4 حالت حقیقی 77
2-1-4 حالت مختلط ..... 83.

فصل پنجم

نتیجه گیری..... 90
پیوست A 92
پیوست B 94
منابع 104

فهرست شکل ها

عنوان **صفـحه**

فصل اول

2-1 تغییرات پرتو لیزری در درون محیط غیر خطی 16

فصل دوم

1-2 بردارهای موج ومیدانهای وابسته به آنها برای قطبش s و p 18و19
2-2 بازتاب وشکست در فرود عمود 21
3-2 بازتاب وشکست در فرود مایل(قطبیدگی p) 23
4-2 بازتاب و شکست در فرود مایل (قطبیدگی s) 25
5-2 موجبرصفحه ای موازی بی نهایت 26
6-2 موجبر مستطیلی 29
7-2 موجبر مستطیلی 34
8-2 یک موجبر دی الکتریک 36

فصل سوم

1-3 نمایش پاکت موج وپوش آن 44
2-3 یک موج غیر خطی 45
3-3 آزمایش راسل 48
4-3 پارامترها برای توضیح موج سولیتاری 49
5-3 توازن بین اثر غیر خطی و پاشندگی 52
6-3 بر هم کنش دو سالیتون 52
7-3 روش پراکندگی وارون 54
8-3 پاسخ دو سالیتونی 67

9-3 طرحی از مقایسه عدسی ها برای سالیتونهای فضایی 69
10-3 نمودار شدت فاز برای سالیتون تاریک 73

فصل چهارم

1-4 تصویری از ساختار دی الکتریک 75
2-4 انرژی پتانسیل نوسانگر دافینگ 78
3-4 نمودار فاز معادله دافینگ 79
4-4 نمودار فاز معادله 4-36 84
5-4 نمودار انرژی پتانسیل معادله 4-37 85
6-4 نمودار انرژی پتانسیل 4-39 86

فصل پنجم

1-5 طرحی از گرافهای $F(f)$ 98
2-5 $F(f)$ یک ریشه مضاعف داشته باشد 98
3-5 $F(f)$ یک ریشه سه گانه داشته باشد 99

بررسی انتشار امواج الکترومغناطیسی درماده به ویژه در جامدات، یکی از مباحث مهم، جالب و چالش برانگیز نور به حساب می آید. از جمله پدیده های نوری متعدد وگوناگونی که به وسیله جامدات ظاهر می شوند: پاشندگی، جذب، شکست دوگانه، قطبش و پدیده های اپتیکی و مغناطونوری را می توان نام برد.

بسیاری از ویژگی های جامدات با به کار بردن نظریه کلاسیک الکترومغناطیس قابل درک هستند. دراین فصل انتشار امواج الکترومغناطیسی در جامدات با استفاده از نظریه ماکروسکوپی ماکسول بررسی می شود.

1 – 1 میدان های ماکروسکوپی و معادلات ماکسول

حالت الکترومغناطیسی ماده در یک نقطه به کمک چهار کمیت زیر توصیف می شود: [1,2]

1- چگالی حجمی بار الکتریکی r

2- چگالی حجمی دو قطبی های الکتریکی (قطبیدگی یا قطبش $\vec{p}$)[1]

3- چگالی حجمی دو قطبی های مغناطیسی (مغناطیدگی یا مغناطش $\vec{M}$)[2]

4- جریان الکتریکی بر واحد سطح(چگالی جریان $\vec{J}$)

همه این کمیت ها به عنوان میانگین ماکروسکوپی در نظرگرفته می شوند تا تغییرات کوچک مربوط به ساختمان اتمی ماده هموار شود. این کمیت ها توسط معادلات ماکسول به میانگین ماکروسکوپی میدانهای $\vec{E}$ $\vec{H}$ بستگی پیدا می کند.

$$\vec{\nabla}\times\vec{E} = -m_0\frac{\partial\vec{H}}{\partial t} - m_0\frac{\partial\vec{M}}{\partial t} \qquad \text{(الف 1-1)}$$

[1] -Polarization

[2] - Magnetization

$$\nabla \times H = e_0 \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial t} + J_{ext} \qquad (1\text{-}1\ \text{ب})$$

$$\nabla . E = -\frac{1}{e_0} \nabla . P + \frac{r_{ext}}{e_0} \qquad (1\text{-}1\ \text{ج})$$

$$\nabla . H = -\nabla . M \qquad (1\text{-}1\ \text{د})$$

اگر کمیت $\vec{D} = e_0 \vec{E} + \vec{P}$ را به عنوان بردار جابجایی الکتریکی معرفی کنیم و کمیت $\vec{B} = m_0 (\vec{H} + \vec{M})$ را بردار میدان مغناطیسی در نظر بگیریم آنگاه معادلات ماکسول به صورت زیر نوشته می شوند:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (2\text{-}1\ \text{الف})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J}_{ext} \qquad (2\text{-}1\ \text{ب})$$

$$\vec{\nabla} . \vec{D} = r_{ext} \qquad (2\text{-}1\ \text{ج})$$

$$\vec{\nabla} . \vec{B} = 0 \qquad (2\text{-}1\ \text{د})$$

از طرفی پاسخ الکترونهای رسانش به میدان الکتریکی با معادله جریان (قانون اهم) به صورت زیرتعریف می شود:

$$J = s\ E \qquad (3\text{-}1)$$

که در آن s رسانندگی الکتریکی است و در حالت کلی یک کمیت تانسوری می باشد. رابطه $D = eE$، پاسخ گروهی بارهای مقید را به میدان الکتریکی توصیف می کند و رابطه مغناطیسی متناظر با آن عبارت است از

$$\vec{B} = m \vec{H} \qquad (4\text{-}1)$$

که در آن $m = m_0 (1 + c_M)$ است وکمیت c_M به عنوان پذیرفتاری مغناطیسی[1] معرفی می شود.

[1] - Magnetic Susceptibility

روش دیگر برای نشان دادن پاسخ بارهای مقید چنین است:

$$\vec{P} = (e - e_0)\vec{E} = ce_0\vec{E} \qquad (5\text{-}1)$$

در اینجا ضریب تناسب

$$c = \frac{e}{e_0} - 1 \qquad (6\text{-}1)$$

را پذیرفتاری الکتریکی[1] می نامند.که در بررسی اپتیکی ماده مهمترین پارامتر است. برای محیط های همسانگرد[2] مانند شیشه، c یک کمیت نرده ای بوده و مقدار آن برای هرجهتی که میدان الکتریکی بکار برده شود یکی است. برای محیط های ناهمسانگرد مانند بسیاری از بلور ها، بزرگی قطبش با جهت میدان بکار بسته تغییر می کند در نتیجه c باید به صورت یک تانسور نوشته شود.

1- 2 معادله موج الکترو مغناطیسی

معادلات ماکسول انتشار امواج الکترومغناطیسی را در محیط های مادی توصیف می کنند. این امواج در حالت کلی شکل پیچیده ای دارند ولی در حالت خاص نسبتاً ساده هستند. معادله موجی که از معادلات ماکسول بدست می آید یک معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی برحسب میدان الکتریکی یا مغناطیسی است. بررسی انتشار میدان ها درمحیط مادی نیاز به بیان ویژگی های الکتریکی و مغناطیسی محیط درقالب روابطی بین بردارهای $\vec{E},\vec{H},\vec{B}$ $\vec{D}$ است. که به این روابط قبلاً اشاره شد. در یک محیط غیر خطی ضرایب s، m و e به میدان الکتریکی $\vec{E}$ یا شدت مغناطیسی $\vec{H}$ بستگی دارند. در صورتی که در محیط های خطی این پارامتر ها ثابت اند وتابعی از میدان $\vec{E}$ $\vec{H}$ نمی باشند. اگر ماده همسانگرد باشد قطبش $\vec{P}$ در جهت میدان الکتریکی مولد خواهد بود. بنابر این، اندازه این ضرایب در تمام جهات یکسان و یک اسکالر(تانسور مرتبه صفر) است. اما در محیط نا همسانگرد این پارامتر معمولاً تانسور است. در یک محیط همگن و خطی این ضرایب مستقل از مختصات فضا و زمان هستند.

[1] - Electric Susceptibility [2] -Isotropic

در بررسی های اپتیکی مواد جامد تنها با محیط های غیر مغناطیسی($m = m_0$)که از لحاظ الکتریکی خنثی هستند سر وکار داریم. از این رو کمیت های M r هر دو صفرند و معادلات ماکسول به صورت زیر ساده می شوند:[1]

$$\vec{\nabla}\times\vec{E} = -m_0\frac{\partial\vec{H}}{\partial t} \qquad (1\text{-}7\text{ الف})$$

$$\vec{\nabla}\times\vec{H} = e_0\frac{\partial\vec{E}}{\partial t} + \frac{\partial\vec{P}}{\partial t} + \mathbf{r}\vec{J}_{ext} \qquad (1\text{-}7\text{ب})$$

$$\mathbf{r}\vec{\nabla}.\mathbf{r}\vec{E} = -\frac{1}{e_0}\mathbf{r}\vec{\nabla}.\mathbf{r}\vec{P} \qquad (1\text{-}7\text{ج})$$

$$\vec{\nabla}.\vec{H} = 0 \qquad (1\text{-}7\text{د})$$

معادله کلی موج مربوط به میدان $\vec{E}$ می شود:

$$\vec{\nabla}\times(\vec{\nabla}\times\vec{E}) + \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} = -m_0\frac{\partial^2\vec{P}}{\partial t^2} - m_0\frac{\partial\vec{J}}{\partial t} \qquad (1\text{-}8)$$

دو جمله سمت راست معادله 1- 8 جملات چشمه هستند. این دو جمله به ترتیب در اثر وجود بارهای قطبشی و بارهای رسانشی در محیط ناشی می شوند.

در فضای آزاد ($\vec{J}_{ext} = 0 \quad r_{ext} = 0$) معادلات موج عبارتند از:

$$\nabla^2\mathbf{r}\vec{E} = em\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} \qquad (1\text{-}9\text{ الف})$$

$$\nabla^2\mathbf{r}\vec{H} = em\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial^2 t} \qquad (1\text{-}9\text{ ب})$$

که در آن $c = \frac{1}{\sqrt{e_0 m_0}}$ سرعت انتشار موج و $n = \frac{c}{v} = \sqrt{\frac{e}{e_0}}$ ضریب شکست محیط است .

ازمعا دلات 1-9، $\vec{E}$ $\vec{H}$ را می توان برای هر نقطه از فضا محاسبه کرد. این معادلات برداری در واقع به معادله موج نرده ای تفکیک می شوند. سه مولفه میدان $\vec{E}$ $\vec{H}$ را می توان از حل معادله موج بدست آورد.

3-1 بردار پویین تینگ[1]

یکی از مشخصه های موج الکترومغناطیس این است که می تواند انرژی را از نقطه ای به نقطه دیگر منتقل کند. آهنگ شارش انرژی دریکای سطح یک موج الکترومغناطیسی تخت با بردارپویین تینگ $\vec{S}$ توصیف می شود:[2]

$$\vec{S}=\frac{1}{m_0}\vec{E}\times\vec{B} \quad \text{یا} \quad \vec{S}=\vec{E}\times\vec{H} \tag{10-1}$$

در دستگاه SI بردار $\vec{S}$ بر حسب وات بر متر مربع بیان می شود و در همان جهتی است که انرژی حرکت می کند جهت $\vec{E}\times\vec{H}$ همان جهت انتشار موج است.

مقدار متوسط بردار $\vec{S}$ برای یک موج الکترومغناطیسی نوسانی به صورت زیر است:

$$\left\langle \vec{S} \right\rangle = \left\langle \vec{E}\times\vec{H} \right\rangle = 1/2\,\mathrm{Re}\left\{ \left\langle \vec{E}\times\vec{H} \right\rangle \right\} \tag{11-1}$$

4 -1 محیط های دی الکتریک

ماده دی الکتریک ایده آل به ماده ای گفته می شودکه بار آزاد نداشته باشد. محیط های دی الکتریک از مولکول و مولکول ها نیز به نوبه خود از ذرات باردار(هسته های اتمی و الکترون ها) تشکیل شده اند. مولکول های دی الکتریک تحت تأثیر میدانهای الکتریکی قرار می گیرند و موجب می شوندکه نیرویی به هر دو ذره باردار وارد شود. ذرات با بار مثبت در جهت میدان و ذرات با بار منفی در خلاف جهت آن حرکت می کنند، به گونه ای که قسمت های مثبت و منفی هر مولکول از مواضع حالت تعادل خود خارج و در دو جهت مخالف جابجا می شوند. اما مقدار این جابجایی که در بیشتر موارد ازکسر کوچکی از قطر مولکول تجاوز نمی کند به علت ایجاد نیرو های قوی بازگرداننده ای که در اثر تغییر پیکربندی مولکول ها بوجود می آیند، محدود است. ازاین رو، بارهای مولکولی نمی توانند خیلی دور بروند یا از جسم دی الکتریک جدا شوند. در مقیاس ماکروسکوپی می توان این طور تجسم کردکه تمامی بارهای منفی دی الکتریک نسبت به بار مثبت آن جابجا شده است، در این صورت گفته می شود که دی الکتریک قطبیده شده است. با وجودی که دی الکتریک قطبیده از لحاظ الکتریکی خنثی است اما

[1]- Pointing vector

در نقاط داخل و خارج دی الکتریک میدان الکتریکی ایجاد می کند در نتیجه با وضعیتی روبرو می شویم که به ظاهر ناهنجاراست.[3]

1- 5 نظریه اپتیک غیر خطی[1]

فناوری لیزرکه طی چندین دهه توسعه یافته نشان داده است که تعمیم وکنترل تابش اپتیکی شدید نسبت به قبل به سطح بالاتری ارتقاء یافته و در مقایسه با منابع نوری معمولی گوناگون، دستگاه های لیزری می توانند پرتوهای نوری قوی ایجاد کنند. وقتی که صحبت از اپتیک خطی است فرض می شود که نوعی آشفتگی اپتیکی در محیط اپتیکی منتشر می شود که می توان آن را با معادله موج خطی توصیف کرد. به عنوان پیامدی از این فرض، دو موج هماهنگ در این محیط از اصل بر هم نهش پیروی می کنند. یعنی شدت نور هر چه باشد این دو موج بدون واپیچش، ناشی از خود محیط یا از تداخل امواج، حرکت می کنند. تنها طول موج و سرعت باریکه نور در ماده شفاف برای توصیف آن لازم هستند.

اپتیک غیر خطی مطالعه اثرات اپتیکی گوناگون ناشی از بر هم کنش نور با ماده را در بر می گیرد. دلایل تاریخی وجود دارد که چرا این شاخهٔ جدید از فیزیک، اپتیک غیر خطی نامیده می شود تا قبل از1960 طبق نظریه اپتیکی بسیاری از فرمو لهای اساسی ریاضی یا فرمول های دیگر ویژگی خطی داشتند. نقطه شروع اپتیک خطی، رابطه بین بردارهای $\vec{D}$ ، $\vec{P}$ $\vec{E}$ تبدیلات فوریه آنهاست که به صورت زیر نوشته می شوند[4, 5,6,7]

$$P_i(\vec{r},t) = e_0 \int d^3r' \int_{-t}^{\infty} dt' c_{ij}(\vec{r}-\vec{r'},t-t') E_j(\vec{r'},t') \qquad (12\text{-}1)$$

$$D_i(\vec{r},t) = e_0 \int d^3r' \int_{-\infty}^{t} dt' e_{ij}(\vec{r}-\vec{r'},t-t') E_j(\vec{r'},t') \qquad (13\text{-}1)$$

$$P_i(\vec{q},w) = e_0 c_{ij}(\vec{q},w) E_j(\vec{q},w) \qquad (14\text{-}1)$$

$$\vec{D}_i(\vec{q},w) = e_0 e_{ij}(\vec{q},w) E_j(\vec{q},w) \qquad (15\text{-}1)$$

که در آن $c_{ij}(\vec{q},w)$ پذیرفتاری خطی و $e_{ij}(\vec{q},w)$ تانسور دی الکتریکی ماده است.

[1] -Nonlinear optics

از سال 1960که نخستین وسیله لیزری کشف شد، متوجه شدند که این فرضیات و نتایج ساده خطی برای شرایطی که یک پرتو لیزری شدید بر انواع محیط اپتیکی فرود می آیدکافی نیست. با ایجاد نورشدیدتر و همدوس توسط لیزرها مشاهده می شود که خواص اپتیکی محیط مانند ضریب شکست آن، تابعی از شدت نور است. وقتی دو یا چند موج نور در این محیط تداخل می کنند اصل بر هم نهش دیگر برقرار نیست. این پدیده های غیر خطی مستلزم گسترش و تعمیم نظریه خطی اند به طوری که بتوان پاسخ غیرخطی مواد اپتیکی را به تابش الکترومغناطیسی در نظر گرفت. اپتیک غیر خطی در نهایت از ناتوانی دوقطبیهای محیط اپتیکی برای پاسخ خطی به میدان متناوب Eی وابسته به باریکه نور ناشی می شوند. هسته های اتمی و الکترونهای درونی به ترتیب سنگین تر و مقید تر از آن هستندکه به میدان متناوب E در بسامد نور(در حدود 10^{15}تا 10^{14} هرتز) پاسخ دهند. بنابراین الکترونهای بیرونی اتمهای ماده عمدتاً باعث قطبش محیط اپتیکی توسط میدان Eی باریکه می شوند. وقتی نوسانهای این الکترونها در پاسخ به میدان کوچک باشند، قطبیدگی متناسب با $\vec{E}$است. اما وقتی میدان $\vec{E}$ با شدت باریکه افزایش می یابد تناسب دقیق شروع به از بین رفتن می کند، درست همانطور که نوسانهای هماهنگ یک فنر ساده با افزایش دامنه نوسان دائماً ناهماهنگ تر می شوند.[5]

قطبیدگی خطی ناشی از میدان الکتریکی $\vec{E}$به صورت زیر نوشته می شود

$$\vec{P} = e_0 c \vec{E} \qquad (16\text{-}1)$$

که در آن c پذیرفتاری خطی e_0گذردهی خلاء است.

وقتی انحراف ازحالت خطی بودن کوچک باشد، می توان تغییر پذیرفتاری در محیط غیر خطی را با یک رشته توانی به صورت زیر نمایش داد

$$c = c^{(1)} + c^{(2)}\vec{E} + c^{(3)}\vec{E}^2 \qquad (17\text{-}1)$$

در این بسط، c تانسور پذیرفتاری معمولی است. ضریب $c^{(3)}$ ،$c^{(2)}$ و....تانسورهای مراتب بالاترند.

با جایگذاری در معادله16-1 قطبیدگی به صورت زیر در می آید

$$\vec{P} = e_0(c^{(1)}\vec{E} + c^{(2)}\vec{E}^2 + c^{(3)}\vec{E}^3) \qquad (18\text{-}1)$$

اغلب بسط فوق به صورت حاصل جمع دو جمله زیر نوشته می شود

$$\vec{P} = \vec{P}^{L} + \vec{P}^{NL} \qquad (19\text{-}1)$$

که درآن قطبیدگی خطی عبارت است از

$$\vec{P}^{L} = e_0 c^{(1)} \vec{E} \qquad (20\text{-}1)$$

جمله باقی مانده غیر خطی است و به صورت زیر بیان می شود

$$\vec{P}^{NL} = e_0 c^{(2)} \vec{E}^{2} + e_0 c^{(3)} \vec{E}^{3} + \mathbf{K} \qquad (21\text{-}1)$$

ضرایب پذیرفتاری خطی و غیرخطی خواص اپتیکی محیط را مشخص می کنند. رابطه بین $\vec{P}$ و $\vec{E}$ پاسخ محیط اپتیکی به میدان را کاملاً مشخص می کند. اولین جمله در معادله1- 18 یا $\vec{P}^{L}$ نمایانگر اپتیک خطی است که در آن قطبیدگی محیط صرفاً متناسب با $\vec{E}$ است. اگر میدان $\vec{E}$زیاد بزرگ نباشد ضرایب جمله های با توان بالاتر به اندازه ای کوچک اند که نمی گذارند این جمله ها تأثیر قابل ملاحظه ای روی قطبیدگی داشته باشند. در صورتی که نور شدید همدوس موجود باشد این جمله های مرتبه بالاتر مهم می شوند. همدوسی زیاد نور لیزر باعث می شود که باریکه در لکه های کوچکی با اندازه ای از مرتبه یک طول موج متمرکز شود و در نتیجه میدان های $\vec{E}$ با شدتی حدود$(\frac{V}{M} \approx 10^{10})$ به وجود می آیند که از مرتبه میدان های هستندکه الکترونها رادر محیط اپتیکی به هسته مقید می کنند.

مؤلفه فوریه nامین مرتبه قطبش به صورت زیر است:[6]

$$\vec{p}^{(n)}(w) = e_0 c^{(n)}(w_1, \mathbf{K} w_n)\vec{E}(w_1)\mathbf{K}\,\vec{E}(w_n) \qquad (22\text{-}1)$$

که در آن $c^{n}(w_1, \mathbf{K}, w_n)$ نشان دهنده nامین مرتبه پذیرفتاری است. طبق معادله 1-22 ، مؤلفه فوریه قطبش خطی برای یک محیط عبارت است از

$$\vec{p}^{(1)}(w) = e_0 c^{(1)}(w)\vec{E}(w) \qquad (23\text{-}1)$$

مؤلفه های فوریه دومین وسومین مرتبه قطبش غیر خطی به صورت زیر نوشته می شوند

$$\vec{P}^{(2)}(w=w_1+w_2)=e_0 c^{(2)}(w_1,w_2)\vec{E}(w_1)\vec{E}(w_2) \qquad (24\text{-}1)$$

$$\vec{P}^{(3)}(w=w_1+w_2+w_3)=e_0 c^{(3)}(w_1,w_2,w_3)\vec{E}(w_1)\vec{E}(w_2)\vec{E}(w_3) \qquad (25\text{-}1)$$

صورت مؤلفه ای معادلات فوق می شود

$$\vec{P}_i^{(1)}(w)=e_0\sum_j c_{ij}^{(1)}(w)\overrightarrow{E_j}(w) \qquad (i,j,=x,y,z) \qquad (26\text{-}1)$$

$$\vec{p}_i^{(2)}(w=w_1+w_2)=e_0\sum_{jk} c_{ijk}^{(2)}(w_1,w_2)\vec{E}_j(w_1)\vec{E}_k(w_2) \qquad (i,j,k=x,y,k) \qquad (27\text{-}1)$$

$$\vec{p}_i^{(3)}(w)=e_0\sum_{jkl} c_{ijkl}^{(3)}(w_2,w_2,w_3)\vec{E}_j(w_1)\vec{E}_k(w_2)\vec{E}_l(w_3) \qquad (28\text{-}1)$$

$(i,j,k,l=x,y,z)$

با استفاده از معادلات فوق می توان پذیرفتاری مراتب مختلف یک محیط، که پارامترهای کلیدی برای تشریح اتصال غیر خطی بودن بین امواج فرودی مختلف هستند را مشاهده نمود.

متناسب با ترکیبات مختلف بسامد اثرات فیزیکی متفاوتی ایجاد می شود که از آن جمله می توان به تولید هماهنگ[1]، یکسوسازی نور[2]، تولید بسامد مجموع[3]، تولید بسامدتفاضل[4]، اشاره کرد.[8]

1-5-1 اثر کر[5]

اثر کر یا اثر **الکترواپتیکی درجه دوم** تغییرضریب شکست ماده در پاسخ به یک میدان الکتریکی است. همه مواد اثر کر را نشان می دهند ، اما مایعات این اثر را نسبت به مواد دیگر قویتر نشان می دهند. اثر کر در سال 1875 بوسیله جان کر کشف شد.[6]

اثر کر شامل دو حالت خاص است:

1- اثر الکترواپتیکی کر یا اثر *DC*

[1]- Scond generation [2]- Recification optical [3]- Sum frequency generation [4]-Difference frequency generation

[5]- Kerr effect

2- اثر کر اپتیکی یا اثر AC

اکنون این دو حالت را بررسی می کنیم:

1- اثر الکترواپتیکی کر یا اثر DC:

این اثر حالتی را که میدان الکتریکی به کندی با میدان خارجی اعمالی تغییر می کند نشان می دهد. ماده تحت تأثیر میدان اعمالی دو شکستی می شود. ضریب شکست های ماده متناسب با نور قطبیده موازی یا عمود بر میدان اعمالی هستند. تغییر ضریب شکست به صورت زیر است

$$\Delta n = lKE^2 \qquad (29\text{-}1)$$

که در آن l طول موج نور ، K ثابت کر و E دامنه میدان الکتریکی است.

هنگامی که نور درجهت عمود بر میدان الکتریکی بتابد، این تغییر ضریب شکست باعث می شود که ماده شبیه به یک صفحه موج عمل کند.

همانطور که قبلاً اشاره شد برای یک ماده غیرخطی قطبش الکتریکی $\vec{P}$ به میدان الکتریکی $\vec{E}$ به صورت زیر بستگی دارد

$$\vec{P} = e_0(c^{(1)}\vec{E} + c^{(2)}\vec{E}^2 + c^{(3)}\vec{E}^3)$$

که در آن e_0 گذردهی خلأ و $c^{(n)}$ nامین مرتبه از پذیرفتاری الکتریکی محیط است

صورت مؤلفه ای معادله بالا به صورت زیر است

$$P_i = e_0\sum_{j=1}^{3} c_{ij}^{(1)}E_j + e_0\sum_{j=1}^{3}\sum_{k=1}^{3} c_{ijk}^{(2)}E_jE_k + e_0\sum_{j=1}^{3}\sum_{k=1}^{3}\sum_{l=1}^{3} c_{ijk}^{(3)}E_jE_kE_l \qquad (30\text{-}1)$$

که در آن $i = 1,2,3$ است.

که برای یک محیط خطی تنها نخستین عبارت مهم است. و قطبش به طور خطی با میدان الکتریکی تغییر می کند. اما برای موادی که از اثر کر صرفنظر نمی شود، عبارت شامل $c^{(3)}$ مهم است و از بقیه جملات مرتبه زوج به دلیل وجود تقارن وارون محیط کر صرفنظر می شود.

اکنون یک میدا ن الکتریکی E ، که با یک موج نوری با فرکانس w و میدان خارجی E_0 تولید می شود در نظر می گیریم

$$E = E_0 + E_w \cos(wt) \qquad (31\text{-}1)$$

که در آن E_w بردار دامنه موج است.

با جایگذاری رابطه 1-31 در معادله 1-18 خواهیم داشت

$$\vec{P} \cong e_0 \left(c^{(1)} + 3c^{(3)} |E_0|^2 \right) E_w \cos(wt) \qquad (32\text{-}1)$$

معادله 1-32 رابطه خطی بین قطبش و میدان الکتریکی از یک موج، با عبارت اضافی پذیرفتاری غیر خطی متناسب با مربع دامنه میدان خارجی را نشان می دهد.

برای محیط غیر متقارن، تغییر القایی پذیرفتاری یک تغییر در ضریب شکست در جهت میدان الکتریکی ایجاد می کند.

بنابراین خواهیم داشت

$$\Delta n = l_0 K |E_0|^2$$

که در آن l_0 طول موج خلاء و K ثابت کرمحیط است.

میدان اعمالی در محیط یک دوشکستی در جهت میدان الکتریکی القاء می کند. بنابراین سلول کر با یک میدان عمودی مانند یک صفحه موج که قطبش موج با صفحه ای دوار از میان آن عبور می کند، عمل می کند.

مقادیر K به مشخصات محیط بستگی دارد، برای آب حدود $9.4\times10^{-14} m/V^2$ است.

به طور کلی پذیرفتاری محیط برای جامدات یک تانسور خواهد بود، و اثر کر در این تانسور یک تغییر ایجاد می کند.

2- اثر کر AC

در این حالت یک پرتو شدید از نور بدون نیاز به میدان خارجی اعمالی، خود یک میدان اصلاح شده فراهم می کند. بنابراین میدان الکتریکی به صورت زیر نوشته می شود

$$E = E_w \cos wt \qquad (33\text{-}1)$$

باجایگذاری رابطه 1- 33 در معادله 1-18 خواهیم داشت