به نام خداوند بخشنده مهربان

۳۴۵۱۵

۱۳۸۰ /۵/ ۳۱

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

دانشگاه تربیت معلم تهران

دانشکده علوم ـ گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

موضوع:

محاسبه پذیرفتاری غیرخطی مرتبه دوم بلورهای مرکز رنگ

RbCl:Na:RbCl:Li

استاد راهنما:دکترمحمد حسین مجلس آرا

استاد مشاور:دکتر حسن مهدیان

نگارش:محمد رسولی

اسفند ۱۳۷۹

012085

۳۴۵۸۵

«خلاصه پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رساله دکتری»

دانشکده: علوم ..... گروه: فیزیک ..... گرایش: حالت جامد .....

دانشجو ..... محمد رسولی ..... سال ورود ..... ۱۳۷۷ ..... سال فارغ‌التحصیلی ..... ۱۳۷۹ .....

کارشناسی ارشد ☒
دکتری ☐

استاد راهنما: دکتر محمد حسین مجلس آرا ..... استاد مشاور: ... دکتر حسن مهدیان .....

استاد راهنما: ..... استاد مشاور: .....

عنوان: محاسبه پذیرفتاری غیر خطی مرتبه دوم بلورهای مرکز رنگ RbCl:Na و RbCl:Li

خلاصه:

تولید هماهنگ دوم و ترکیب سه موج فرآیندهائی هستند که در ناحیه اپتیک غیر خطی مورد بررسی و مطالعه قرار می گیرند . پذیرفتاری مرتبه دوم بعضی مواد در تولید این فرآیندها نقش اساسی دارد ودرساخت لیزرها با طول موج های مختلف دارای اهمیت زیادی هستند . برای مشاهده اثرات غیر خطی مرتبه دوم آنها صفر است . با اضافه کردن ناخالصی به بلور تقارن وارون از بین می رود و بلور قادر به تولید اثرات غیر خطی مرتبه دوم می شود .

در این بلورها مراکز رنگ F_A را به صورت یک دستگاه سه ترازی با بسامدهای گذار و گشتاورهای دو قطبی که از طیف سنجی خطی در دست است در نظر می گیریم .حضور گشتاورهای دو قطبی الکتریکی غیر صفر حالت پایه در دستگاه ناشی از اختلاف در الکترونگاتیوتی کاتدهای میزبان و ناخالص است . از فرمول ماتریس چگالی استفاده ومعادله حرکت را با استفاده از تئوری اختلال مرتبه دوم حل می کنیم و پذیرفتاری مرتبه دوم‌که مسئولیت تولید هماهنگ دوم را به عهده دارد محاسبه می کنیم . قسمت های حقیقی و مجازی پذیرفتاری مرتبه دوم بر حسب بسامد زاویه ای برای بلورهای RbCl:Na و RbCl:Li بدست می آیند از نمودارهای رسم شده نتیجه می گیریم که در چه نواحی از بسامد پذیرفتاری مرتبه دوم مقادیر بیشینه یا کمینه دارد .این محاسبات ما را در انتخاب این بلورها در کاواک های لیزر برای تولید هماهنگ دوم رهنمون می نماید .

مراجع علمی:

۱- 1.M.H. Majles Ara, C. Vijayan and Y.V.G.S. Murti Second Order Optical Nonlinearity of F_A Centers .in KCL Crystal S:Optical

۲- Marcuse Dicterich (1970) "Engineering Quantum Electronics', Harcourt, Brace and World,

۳- 3-P. N. Butrher and D. Cotter. the Elements of Nonlinear optics. cambridge university press, cambridge, UK. 1990.

تهران: خیابان شهید مفتح، شماره ۴۹ ، دانشگاه تربیت معلم، اداره کل تحصیلات تکمیلی، کد پستی: ۱۵۶۱۴ ـ تلفن: ۸۸۴۸۹۳۸ ـ ۸۱۰۲۴۳۸

قدردانی وتشکر

انجام این کار میسر نبود مگر به لطف خداوند مهربان و
استاد محترم اقای دکتر محمد حسین مجلس آرا که با راهنماییهای ارزنده خودشان مرا در انجام این کار یاری کردند که بدین وسیله از ایشان تشکر می کنم ، از استاد مشاور محترم اقای دکتر حسن مهدیان و از اساتید داور اقای دکتر حسن عزیزی واقای دکتر ارژنگ ناجی که با لطف فراوانشان مرا در حین تحصیل یاری وراهنمایی نمودند ، از اقای دکتر عظیم عراقی که برای تصویب پایان نامه مساعدت نمودند همچنین از خانم حلواییان واقایان امیدی، رحیم پور ، کریمی ودلجو کارمندان گروه فیزیک و همچنین اقایان مجتبی طالبی، بهروز پورجبار ،غلامحسین حیدری.و کلیه دوستان ورودی ۷۷، ۸۷ ، ۷۹ که مرا یاری کردند تشکر می کنم.

تقدیم به پدر و مادرم که گرانبهاترین نگین هستی اند

تقدیم به همســـــــرم که گنجینه صبر و بردباری است

تقدیم به خـواهــران گرانـقدرم

چکیده: تولید هماهنگ دوم و ترکیب سه موج فرآیندهائی هستند که در ناحیه اپتیک غیرخطی مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرند. پذیرفتاری مرتبه دوم بعضی مواد در تولید این فرآیندها نقش اساسی دارد و در ساخت لیزرها با طول موج‌های مختلف دارای اهمیت زیادی هستند. برای مشاهده اثرات غیرخطی مرتبه دوم محدودیت‌هایی در انتخاب بلور به خاطر حضور مرکز تقارن وارون وجود دارد، چون موادی که دارای تقارن وارون هستند قادر به تولید هماهنگ دوم نیستند و پذیرفتاری مرتبه دوم آنها صفر است. با اضافه کردن ناخالصی به بلور تقارن وارون از بین می‌رود و بلور قادر به تولید اثرات غیرخطی مرتبه دوم می‌شود.

در این پایان‌نامه پذیرفتاری مرتبه دوم را برای اولین بار در بلورهای RbCl:Na و RbCl:Li که ناشی از مرکز رنگ F_A می‌باشد بصورت نظری محاسبه کرده‌ایم.

در این بلورها مراکز رنگ F_A را بصورت یک دستگاه سه ترازی با بسامدهای گذار و گشتاورهای دو قطبی که از طیف سنجی خطی در دست است در نظر می‌گیریم.

حضور گشتاورهای دو قطبی الکتریکی غیرصفر حالت پایه در دستگاه ناشی از اختلاف در الکترونگاتیوتی کاتدهای میزبان و ناخالص است. از فرمول ماتریس چگالی استفاده و معادله حرکت را با استفاده از تئوری اختلال مرتبه دوم حل می‌کنیم و پذیرفتاری مرتبه دوم که مسئولیت تولید هماهنگ دوم را به عهده دارد محاسبه می‌کنیم. قسمت‌های حقیقی و مجازی پذیرفتاری مرتبه دوم بر حسب بسامد زاویه‌ای برای بلورهای RbCl:Li و RbCl:Na بدست می‌آیند.

از نمودارهای رسم شده نتیجه می‌گیریم که در چه نواحی از بسامد پذیرفتاری مرتبه دوم مقادیر بیشینه یا کمینه دارد. این محاسبات ما را در انتخاب این بلورها در کاواک‌های لیزر برای تولید هماهنگ دوم رهنمون می‌نماید.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: اپتیک غیرخطی ۱

مقدمه ۱

۱.۱ منشا اپتیک غیرخطی ۲

فصل دوم: استفاده از فرمول بندی ماتریس چگالی در اپتیک غیرخطی ۸

مقدمه ۸

۱.۲ تعریف ماتریس چگالی ۸

۲.۲ خواص ماتریس چگالی ۱۱

۳.۲ استفاده از ماتریس چگالی ۱۲

۴.۲ حل معادلات حرکت با استفاده از تئوری اختلال ۱۷

۵.۲ بردار قطبش در تولید هماهنگ دوم ۱۸

۶.۲ وابستگی تولید هماهنگ دوم به تقارن بلور ۲۲

۷.۲ شرط جفت شدگی فاز ۲۴

فصل سوم: مرکز F_A در کلرید روبیدیم (RbCl) ۲۶

مقدمه ۲۶

۱.۳ مرکز F ۲۶

۲.۳ مراکز F_A ۳۱

۳.۳ وضعیت شبکه مرکز F_A در حالت پایه ۳۵

۴.۳ گذار اپتیکی به داخل حالت‌های برانگیخته بالاتر ۳۶

فصل چهارم: محاسبه پذیرفتاری مرتبه دوم برای مرکز رنگ کلرید روبیدیم ۴۱
مقدمه ۴۱
۱.۴ محاسبه قسمت حقیقی پذیرفتاری مرتبه دوم ۴۲
۲.۴ محاسبه قسمت مجازی χ^2 (-2ω , ω , ω) ۴۶
۳.۴ نتایج و جمع بندی در محاسبه پذیرفتاری مرتبه دوم ۴۷
فصل پنجم: ترکیب بسامدها در بلورهای مراکز رنگ ۵۴
مقدمه ۵۴
۱.۵ محاسبه χ^2 (-ω_3 , ω_1 , ω_2) ۵۵
۲.۵ محاسبه قسمت حقیقی χ^2 (-ω_3 , ω_1 , ω_2) ۵۸
۳.۵ محاسبه قسمت مجازی χ^2 (-ω_3 , ω_1 , ω_2) ۶۱
۴.۵ نتایج و جمع بندی در محاسبه پذیرفتاری مرتبه دوم ۶۴
۵.۵ محاسبه پذیرفتاری χ^2 (-ω_2 , ω_1 , ω_3) ۶۶
۶.۵ نتایج و جمع بندی در محاسبه پذیرفتاری $\chi^{(2)}$ ۶۸
۷.۵ نتایج و بحث ۸۳

فصل اول
اپتیک غیرخطی

مقدمه

وقتی نور در یک محیط منتشر می‌شود خاصیت خطی یا غیرخطی بودن، مربوط به محیطی است که نور در آن منتشر می‌شود. همه محیط‌ها می‌توانند آثار غیرخطی از خود نشان دهند، حتی در خلا فوتونها می‌توانند با هم بر هم کنش داشته باشند اما غیرخطی بودن آنقدر کوچک است که با شدت نور معمولی پراکندگی فوتون - فوتون و اثرات غیرخطی دیگر قابل مشاهده نیست پس رفتار غیرخطی نور را نمی‌توان در خلاء مشاهده کرد بنابراین بر هم کنش دو باریکه نور از طریق محیط صورت می‌گیرد.

فرض خطی بودن محیط اپتیکی دارای نتایج زیر است.

۱. ضریب شکست به شدت نور بستگی ندارد.

۲. اصل بر هم نهی صادق است.

۳. بسامد نور در محیط تغییری نمی‌کند.

۴. دو باریکه نور در محیط بر هم کنش نمی‌کنند.

در نتیجه اختراع لیزر در سال ۱۹۶۰ بر هم کنش با شدت‌های بالا هم مورد بررسی قرار گرفت. با انجام آزمایشات مختلف مشخص شد که محیط‌های اپتیکی رفتار غیرخطی از خود نشان می‌دهند. اثرات غیرخطی در یک محیط در صورتی مشاهده می‌شود که:

۱. ضریب شکست در یک محیط با شدت نور تغییر کند.

۲. اصل بر هم نهی نقض شود.

۳. بسامد نور در محیط غیرخطی تغییر کند.

۴. دو باریکه نور در محیط بر هم کنش کنند.

اثرات غیرخطی در سال ۱۹۶۱ به وسیله فرانکین با مشاهده تولید هماهنگ دوم[1] شروع شد. در محیط‌هایی که اثرات غیرخطی آشکار می‌کنند باریکه لیزر را می‌توان به یک باریکه با بسامد دو برابر که دارای بازده بالای ۵۰ درصد است تبدیل کرد. فرانکین یک باریکه لیزر Ruby با طول موج ۶۹۴۲ انگستروم را از یک بلور کوارتز عبور داد و باریکه فرابنفش با طول موج ۳۴۷۱ انگستروم از بلور دریافت کرد. این آزمایش روشی در به دست آوردن تابش‌های همدوس با توان بالا است که در آن می‌توان طول موجی کوتاه‌تر به دست آورد. چشمه نور معمولی برای چنین آزمایشاتی خیلی ضعیف است به طور کلی میدانی در حدود $1 \frac{kv}{cm}$ یک اثر غیرخطی در محیط القاء می‌کند که این میدان متناظر با باریکه‌ای به شدت تقریبی $2/5 \frac{kv}{cm^2}$ است پس برای مشاهده تولید هماهنگ دوم یک باریکه لیزر لازم است.

پدیده اپتیک غیرخطی نه تنها دانش ما را در مورد برهم‌کنش نور با ماده افزایش داد، بلکه انقلابی در فن آوری اپتیک به وجود آورد. فرآیند اپتیک غیرخطی شامل دو قسمت است: الف. شدت نور یک اثر غیرخطی در محیط القاء می‌کند. ب. محیط شکل میدان را به صورت غیرخطی تغییر می‌دهد.

۱.۱ منشاء اپتیک غیرخطی

با یک روش ساده رفتار غیرخطی نور را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. ذراتی که در این جا با آنها سر و کار داریم الکترونها و هسته‌های یونی هستند. وقتی میدان الکتریکی در محیط

1- Second Harmonic Generation

اعمال کنیم بارهای مثبت در جهت میدان و بارهای منفی در جهت مخالف حرکت می‌کنند.

موج الکترومغناطیسی که در محیط دی الکتریک منتشر شده باعث می‌شود که ذرات مثبت در یک جهت و ذرات منفی در جهت دیگر از مکان معمولشان جابجا شوند. هر مولکول مانند یک دو قطبی الکتریکی عمل می‌کند. لذا اجتماعی از گشتاور دو قطبی‌ها تولید می‌شود.

به عبارت دیگر اثر میدان الکتریکی در محیط دی الکتریک القاء یک قطبش است. یک باریکه نور شامل میدانهای الکتریکی و مغناطیسی است. با به کار بردن میدان الکتریکی در یک محیط دی الکتریک حرکت ذرات باردار به صورت دو قطبی‌های نوسانی است. اثر میدان مغناطیسی در ذرات خیلی ضعیف است و از آن چشم پوشی می‌کنیم.

ذرات باردار مثبت هسته‌های یونی هستند که جرم آنها خیلی بزرگتر از جرم الکترونها است برای بسامدهای بالا (ماوراء بنفش و ناحیه مرئی) فقط حرکت الکترونها را در نظر می‌گیریم.

تاثیر میدان الکتریکی به الکترون به گونه‌ای است که ذره را در یک چاه پتانسیل غیرهماهنگ قرار می‌دهد. می‌توان یک مشابه مکانیکی ساده برای این حرکت در نظر گرفت؛ فرض می‌کنیم الکترونی که دارای جرم m و بار e-است به وسیله فنر، متصل به یک یون مادر است، برای سادگی حالتی که دو قطبی‌های الکتریکی همگی در جهت میدان باشند را در نظر می‌گیریم، مکان الکترون به خاطر میدان الکتریکی نوسانی E(t) متغیر است؛ معادله حرکت برای نوسانگر به صورت زیر است. [۱]

$$m\left[\frac{d^2x}{dt^2} + 2\Gamma\frac{dx}{dt} + \Omega^2 x - \left(\varepsilon^{(2)}x^2 + \varepsilon^{(3)}x^3 + \ldots\right)\right] = -eE(t) \qquad (۱.۱.۱)$$

در این معادله x تغییر مکان، Ω بسامد تشدید[1] و Γ ثابت میرائی است. جمله طرف راست معادله بالا، نیروی نوسانی وارد به الکترون به وسیله میدان الکتریکی به کار رفته است برای سادگی در ابتدا از جمله غیرهماهنگ چشم پوشی می‌کنیم و جواب هماهنگ معادله فوق را برای میدان الکتریکی به شکل زیر در نظر می‌گیریم.

$$E(t) = E_0 \cos \omega t = \frac{1}{2} E_0 \left[\exp(-i\omega t) + \exp(+i\omega t) \right]$$

که در آن ω بسامد است با جایگذاری معادله قبلی در معادله (۱.۱.۱) یک معادله خطی به دست می‌آید. با کمی عملیات جبری جواب x به صورت زیر است.

$$x = \frac{-eE_0}{m} \frac{\exp(-i\omega t)}{\Omega^2 - 2i\Gamma\omega - \omega^2} + c.c$$

c.c همیوغ مختلط است. اگر N تعداد دو قطبی‌ها در واحد حجم باشد قطبش[2] القاء شده در محیط به صورت $P = - Nex$ است. بستگی خطی قطبش P به میدان E بوسیله معادله (۲.۱.۱) داده شده است.

$$P = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \chi E_0 \exp(-i\omega t) + c.c \qquad (۲.۱.۱)$$

$$\chi = \frac{Ne^2}{m} \frac{1}{\Omega^2 - 2i\Gamma\omega - \omega^2} \qquad (۳.۱.۱)$$

دو قطبی الکتریکی با همان بسامد میدان الکتریکی نوسان می‌کند. جابجایی الکتریکی به صورت $D = \varepsilon_0 E + P$، و ثابت دی الکتریک $1 + \chi$ و ضریب شکست قسمت حقیقی $\sqrt{1 + \chi}$ است. افت در محیط به وسیله قسمت مجازی χ تعیین می‌شود. در فیزیک بستگی خطی یک کمیت به کمیت دیگر تقریبی است به طوریکه اعتبار آن فقط در گستره محدودی از مقادیر است. در این حالت ذرات باردار در یک محیط دی الکتریک را می‌توانیم خطی در نظر بگیریم اگر تغییر مکان x کوچک باشد. برای تغییر مکان‌های بزرگ

1- Resonance frequency
2- Polarisation

نیروی بازگرداننده مفهوم غیرخطی به x می‌دهد. این غیرخطی بودن در معادله (۱.۱.۱) به وسیله جمله‌هایی که نمایش دهنده یک نیروی بازگردانـنده غـیرهماهنگ بـه صـورت $m(\varepsilon^{(2)}\chi^2 + \varepsilon^{(3)}\chi^3 + ...)$ که در آن $\varepsilon^{(2)}$ و $\varepsilon^{(3)}$ ثابت هستند، نشان داده می‌شود.

تحلیل طیف نوری از موج قطبشی در حالت غیرخطی نشان می‌دهد که علاوه بر مولفه اصلی که در بسامد ω نوسان می‌کند مولفهٔ قابل توجهی در بسامد هماهنگ 2ω و 3ω و... و یک مولفه dc (با بسامد صفر) را نیز شامل می‌شود. در نظریه الکترومغناطیسی دو قطبی الکتریکی نوسانی، میدانی با همان بسامدی که نوسان می‌کند تابش می‌نماید.

این نظریه برای جمعی از دو قطبی‌ها هم درست است بنابراین مولفه‌ای از قطبش که در بسامد هماهنگ دوم نوسان می‌کند، می‌تواند یک بسامد 2ω تولید کند. این فرآیند تولید هماهنگ دوم است. وقتی جمله غیرهماهنگ القاء شود حل دقیقی برای معادله (۱.۱.۱) وجود ندارد هر چند جمله غیرهماهنگ در مقایسه بـا جـمله هـماهنگ کـوچک است. می‌توانیم معادله (۱.۱.۱) را با تقریب حل کنیم با استفاده از این نکته χ را به صورت سری توانی از E و همچنین قطبش P را به شکل زیر بسط می‌دهیم.

$$\chi(E) = \chi^{(1)} + \chi^{(2)}E + \chi^{(3)}E^2 + ...$$

$$P(E) = \varepsilon_0 E\chi(E) = \varepsilon_0 (\chi^{(1)}E + \chi^{(2)}E^2 + \chi^{(3)}E^3 + ...)$$

که $\chi(E)$ پذیرفتاری[1] الکتریکی است. $\chi^{(1)}$ پذیرفتاری خـطی، $\chi^{(2)}$ و $\chi^{(3)}$ پـذیرفتاری غیرخطی است، جمله $\chi^{(2)}$ متناظر با مرتبه دوم است. اگر میدان ضعیف باشد، فقط جمله اول در معادله فوق باقی می‌ماند، این در حالتی است که از چشمه نور معمولی استفاده کنیم.

1- Susuceptibility

اثر مرتبه دوم یک تانسور مرتبه سوم است که در بلورهای فاقد مرکز وارونی می‌توان مشاهده نمود.[۲] $\chi^{(3)}$ متناظر با مرتبه سوم و یک تانسور مرتبه چهارم است. تولید هماهنگ سوم حتی در بلورهایی که مرکز وارونی دارند نیز ممکن است مشاهده شود.[۳و۴]

هدف از تولید هماهنگ دوم به کمک ترکیب امواج این است که بتوانیم باریکه‌ای با بسامد دو برابر به کمک یک محیط تولید کنیم، لذا این محیط‌ها به عنوان محیط‌های غیرخطی معروف هستند و می‌توانند در تولید لیزرهای جدید نقش مهم و اساسی داشته باشند. حضور مرکز وارونی مانع از تولید هماهنگ دوم می‌شود و یک سری محدودیت در انتخاب بلور بوجود می‌آورد. برای مثال بلورهای مکعبی به دلیل مرکز تقارن پذیرفتاری مرتبه دوم را تولید نمی‌کنند.[۵]

در این بلورها با به کار بردن میدان الکتریکی و یا با وارد کردن ناخالصی[۱] بلور از تقارن مکعبی به چهار وجهی تغییر می‌یابد. مراکز رنگ[۲] نمونه‌ای از بلورهای چهار وجهی هستند.

خواص خطی این مراکز به خوبی درک شده‌اند و این مراکز به طور گسترده مانند یک محیط برای لیزر مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از انجام این کار: الف. مطالعه تولید هماهنگ دوم با استفاده از بلورهای مراکز رنگ $RbCl: Li.F_A$ و RbCl: Na و محاسبه پذیرفتاری غیرخطی مرتبه دوم دو بلور است. رسم نمودار پذیرفتاری غیرخطی مرتبه دوم $\chi^{(2)}$ برحسب بسامد زاویه‌ای ω و مقایسه این دو مرکز رنگ برای تولید هماهنگ دوم است. ب.

1- Impurity
2- Color centers

فرآیند ترکیب بسامدها را در حاصل جمع بسامدها[۱] و اختلاف بسامدها[۲] مورد بررسی قرار می‌دهیم، تولید هماهنگ دوم حالت خاصی از حاصل جمع بسامدها است تولید هماهنگ دوم یک باریکه نور با بسامد ω باریکه دیگری با بسامد 2ω تولید می‌کند فرآیند حاصل جمع بسامدهای ω_1 و ω_2 باریکه نور جدیدی با بسامد $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ تولید می‌کند. فرآیند اختلاف بسامدهای ω_1 و ω_3 باریکه نور جدیدی با بسامد $\omega_2 = \omega_3 - \omega_1$ تولید می‌کند. در قسمت دوم پذیرفتاری غیرخطی مرتبه دوم را در حالی که دو باریکه نور با بسامدهای ω_1 و ω_2 یا ω_1 و ω_3 به بلور مراکز رنگ F_A می‌تابد را محاسبه می‌کنیم و نمودار پذیرفتاری غیرخطی مرتبه دوم را برحسب بسامد برای دو بلور مرکز رنگ کلرید روبیدیم با ناخالصی‌های لیتیم و سدیم رسم می‌کنیم برای این دو قسمت از ماتریس چگالی[۳] استفاده می‌کنیم.

1- Parametric up-conversion
2- Parametric down-conversion
3- Density matrix