



بررسی خواص غیرخطی مواد با استفاده از تکنیک ماره

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد

حسین قاسمی

اساتید راهنما:

دکتر سیف اله رسولی

دکتر حمید رضا خالصی فرد

دی ۱۳۸۷

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به

پدر زحمت کش ، مادر دل سوز

همسر صبور

و

خواهران عزیزم

قدردانی و تشکر

ستایش مخصوص خداوند مهربان است.

از پدر زحمتکش و مادر دلسوزم کمال قدردانی را دارم و

از همسر صبور و دلسوزم به خاطر آرامش خاطری که این مدت به من دادند و خواهر عزیزم به خاطر راهنماییها و

حمایتهای مفیدی که در کسب علم و دانش به اینجانب داشته‌اند، کمال قدردانی و تشکر را دارم.

و از استاد گرامی دکتر سیف‌اله رسولی به خاطر مطالب زیادی که این مدت کم به من آموختند و دکتر خالصی

فرد به خاطر فراهم آوردن محیطی دوستانه در آزمایشگاه تشکر می‌کنم.

از دکتر بابک کریمی و آقای فرهاد کبیری که نمونه‌ی نانو ذرات طلا را تهیه و در اختیار ما قرار دادند، همچنین

دکتر کبودین که در تهیه‌ی نمونه‌ی رنگینه‌ی آلی Neutral Red و دکتر عمادی که در تهیه‌ی سلول یک

میلی‌متری و آقای آرمان جوادی به خاطر زحمات‌شان در تهیه‌ی نمونه‌ی شاره‌ی مغناطیسی تشکر می‌کنم.

زحمات تمامی کسانی که من را در رسیدن به این مرحله از زندگی یاری رساندند ارج می‌نهم.

چکیده

جذب باریکه‌ی لیزر با نمایه‌ی گاوسی توسط نمونه، باعث ایجاد گرادیان دمایی در مقطع باریکه و در داخل نمونه می‌شود. این گرادیان دما منجر به ایجاد گرادیان ضریب شکست با تقارن محوری می‌شود. وجود گرادیان ضریب شکست با تقارن محوری در نمونه مثل یک عدسی عمل می‌کند و نور را منحرف می‌کند، انحراف نور با تکنیک ماره قابل اندازه‌گیری است. در این پایان‌نامه با استفاده از پدیده‌ی تالبوت و تکنیک ماره ضریب شکست غیرخطی با دوروش، پمپ-کاوه و انحراف سنجی ماره‌ی موازی تعیین می‌شود.

در روش اول باریکه‌ی کاوه بعد از عبور از یک باریکه‌گسترپهن و موازی می‌شود. این باریکه از میان سلول حاوی نمونه عبور می‌کند و سطح یک توری رانکی را که بر امتداد انتشار باریکه‌ی نور عمود است، روشن می‌کند. در فاصله‌ی تالبوت آن، توری مشابه دیگری قرار می‌گیرد. صفحات این دو توری به موازات همدیگرند و راستای خطوط آن‌ها زاویه‌ی کوچکی با هم می‌سازند. باریکه‌ی پمپ با زاویه‌ی کوچکی نسبت به امتداد باریکه‌ی کاوه از میان نمونه عبور داده می‌شود. در اثر عبور باریکه‌ی پمپ، فریزهای ماره‌ی متناظر با محل عبور پمپ به‌طور محسوسی نسبت به امتداد اولیه‌ی خود می‌چرخند. با اندازه‌گیری مقدار چرخش فریزهای ماره، فاصله‌ی کانونی مؤثر عدسی گرمایی ایجاد شده و ضریب شکست غیرخطی نمونه تعیین می‌شود.

در روش دوم باریکه‌ی لیزر بعد از عبور از دو سیستم تلسکوپی پهن شده، سطح یک توری رانکی را که بر امتداد انتشار عمود است، روشن می‌کند. صفحات و خطوط این دو توری به موازات همدیگرند. برهم نهی این دو ساختار فریزهای ماره با خطوط موازی را ایجاد می‌کند. در غیاب نمونه فریزهای ماره بی‌کران و در حضور آن به‌علت تغییر شعاع انحنای نور فرودی به توری اول، گام خود تصویر آن اندکی از گام توری دوم متفاوت است و گام فریزهای ماره ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. این تغییرات فریزهای ماره وابسته به تغییر ضریب شکست در نمونه است. تغییر ضریب شکست ایجاد شده به ضریب شکست غیرخطی و ضریب جذب غیرخطی مربوط است.

در هر دو روش توسط یک عدسی، تبدیل فوریه‌ی ساختار برهم نهی خود تصویر توری اول و توری دوم در کانون آن گرفته شده است. با پالایه‌ی مناسب فضایی، طرح زنجیر فرکانس پایین، یعنی نقش ماره عبور داده و با یک

دوربین مجهز به CCD تصاویر نقش ماره گرفته و در حافظه رایانه ثبت شده است.

فهرست

| | |
|------|-------|
| چهار | چکیده |
| نه | مقدمه |

۱ اپتیک غیرخطی

| | |
|----|--|
| ۲ | ۱.۱ ضریب شکست غیرخطی |
| ۴ | ۱.۱.۱ انواع فرآیندهای تغییر ضریب شکست |
| ۵ | جهت گیری مولکولی |
| ۶ | الکتروتنگش |
| ۹ | اثرات گرمایی |
| ۹ | ۲.۱.۱ محاسبه‌ی تغییرات دما در امتداد شعاع باریکه |
| ۱۱ | ۲.۱ روش‌های اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی |
| ۱۲ | ۱.۲.۱ تداخل سنج ماخ-زندر |
| ۱۳ | ۲.۲.۱ تداخل سنج مایکلسون-مورلی |

| | | |
|----|---|-------------------------|
| ۱۵ | روش خود کانونی سازی | ۳.۱ |
| ۱۵ | روش محدود کننده‌ی توان اپتیکی | ۱.۳.۱ |
| ۱۶ | روش جاروب z | ۲.۳.۱ |
| | ضریب شکست غیرخطی در غیاب جذب غیرخطی | |
| | ۱۷ | $\Delta\alpha = 0$ |
| ۱۸ | تعیین اندازه و علامت ضریب شکست غیرخطی (n_2) | |
| | ضریب شکست غیرخطی در حضور جذب | |
| | ۲۱ | $(\Delta\alpha \neq 0)$ |

۲ پدیده تالبوت و تکنیک ماره

| | | |
|----|--|-------|
| ۲۵ | نقش ماره | ۱.۲ |
| ۲۶ | نقش ماره‌ی چرخشی | ۱.۱.۲ |
| ۲۷ | نقش ماره‌ی موازی | ۲.۱.۲ |
| ۲۸ | اثر تالبوت یا خودتصویر سازی | ۲.۲ |
| ۳۱ | انحراف سنجی ماره‌ای | ۳.۲ |
| ۳۱ | به‌کارگیری روش پالایه‌ی فضایی برای پردازش نقش فریزهای ماره | ۴.۲ |

۳ اندازه‌گیری ضریب شکست و ضریب جذب غیرخطی مواد با استفاده از پدیده‌ی تالبوت و تکنیک ماره

| | | |
|----|--|-----|
| | استفاده از پدیده‌ی تالبوت و تکنیک ماره در آرایش پمپ- کاوه برای اندازه‌گیری | ۱.۳ |
| ۳۵ | ضریب شکست غیرخطی مواد | |

| | | | |
|----|-------|-------|--|
| ۳۶ | | ۱.۱.۳ | مبانی نظری |
| | | ۲.۳ | اندازه‌گیری ضریب شکست و ضریب جذب غیرخطی مواد با استفاده از پدیده‌ی تالبوت و انحراف‌سنجی ماره‌ی موازی |
| ۳۹ | | | |

| | | | |
|----|-------|-------|------------|
| ۳۹ | | ۱.۲.۳ | مبانی نظری |
|----|-------|-------|------------|

| | | | |
|----|-------|-------|------------|
| ۴۷ | | ۲.۲.۳ | نتیجه‌گیری |
|----|-------|-------|------------|

۴ کارهای تجربی

| | | | |
|----|-------|-----|-------------|
| ۵۱ | | ۱.۴ | روش جاروب z |
|----|-------|-----|-------------|

| | | | |
|----|-------|-----|--|
| | | ۲.۴ | اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی مواد با استفاده از پدیده‌ی تالبوت و تکنیک ماره در آرایش پمپ- کاوه |
| ۵۶ | | | |

| | | | |
|----|-------|-------|--|
| | | ۱.۲.۴ | تعیین دقت روش اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی مواد با استفاده از پدیده‌ی تالبوت و تکنیک ماره در آرایش پمپ- کاوه |
| ۶۲ | | | |

| | | | |
|----|-------|-----|---|
| | | ۳.۴ | اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی مواد با استفاده از پدیده‌ی تالبوت و انحراف‌سنجی ماره‌ی موازی |
| ۶۴ | | | |

| | | | |
|----|-------|-----|-------------------|
| ۷۹ | | ۴.۴ | محاسبه‌ی خطای روش |
|----|-------|-----|-------------------|

| | | | |
|----|-------|-----|------------|
| ۸۰ | | ۵.۴ | نتیجه‌گیری |
|----|-------|-----|------------|

| | | | |
|----|-------|--|-------|
| ۸۱ | | | پیوست |
|----|-------|--|-------|

| | | | |
|----|-------|--|-------|
| ۸۲ | | | مراجع |
|----|-------|--|-------|

| | | | |
|----|-------|--|------------------------------|
| ۸۶ | | | واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی |
|----|-------|--|------------------------------|

| | | | |
|----|-------|--|----------------------------|
| ۸۸ | | | واژه‌نامه انگلیسی به فارسی |
|----|-------|--|----------------------------|

مقدمه

ظهور لیزر و تکامل این نوع منابع نور همدوس، باعث توسعه‌ی اپتیک غیرخطی شده است. اپتیک غیرخطی از کشف تولید هماهنگ دوم در سال ۱۹۶۱ توسط فرانکلین و همکارانش آغاز شد.

بسیاری از پدیده‌های اپتیک غیرخطی از ضریب شکست غیرخطی نتیجه می‌شود، که باعث کاربردهای جالبی از این رشته شده است. از جمله این کاربردها موارد زیر را می‌توان نام برد [۱]:

طیف‌سنجی اپتیکی

تصحیح انحرافات اپتیکی

کلیدزنی اپتیکی

پردازش داده‌های اپتیکی

ارتباطات اپتیکی

یکی از این پدیده‌های غیرخطی، فرآیند گرمایی است. تعیین ضریب شکست غیرخطی با منشأ گرمایی از اهمیت خاصی برخوردار است و کاربردهای جالب توجه از جمله طیف‌سنجی جرمی و میکروسکوپی گرمایی دارد. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی، وجود دارد [۳۰، ۱۰]. در این پایان‌نامه دو روش جدید و دقیق برای اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی مواد ارایه می‌شود در عین هر دو روش در تعیین خواص غیرخطی نمونه‌های مختلف بکار برده می‌شود.

فصل اول این پایان‌نامه، به توصیفی از پدیده‌های غیرخطی و ضریب شکست غیرخطی اختصاص یافته است. در این فصل هم‌چنین روش‌های مختلف اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی و ضریب جذب غیرخطی بررسی شده است. تداخل‌سنجی در دو بخش تداخل‌سنج مایکلسون – مورلی و تداخل‌سنج ماخ – زندر بررسی شده است. در انتهای فصل دو روش محدود کننده‌ی توان اپتیکی، روش جاروب z و عیب‌ها و مزیت‌های هر کدام بررسی شده است.

در فصل دوم تکنیک ماره و پدیده تالپوت بررسی شده است. انحراف‌سنجی ماره‌ای و پالایه‌ی فضایی برای افزایش تباین فریزها در انتهای فصل آورده شده است.

در فصل سوم مطالعه‌ی نظری اندازه‌گیری خصوصیات غیرخطی مواد با استفاده از پدیده‌ی تالبوت و تکنیک ماره مورد بررسی قرار گرفته است. مزیت‌های این روش بر روش‌های قبلی و عیب‌های آن نیز، بیان شده است.

در فصل چهارم داده‌های تجربی سه روش جاروب z ، استفاده از پدیده‌ی تالبوت و تکنیک ماره در آرایش پمپ - کاوه و استفاده از پدیده‌ی تالبوت و انحراف سنجی ماره‌ی موازی آورده شده است.

نتایج تجربی این سه روش و منحنی‌های به‌دست آمده از این داده‌ها در این فصل آورده شده است. ضریب‌شکست غیرخطی نمونه‌های مختلف با استفاده از روش دوم به‌دست آمده است. ضریب‌شکست غیرخطی با استفاده از روش سوم استخراج شد. نتایج به‌دست آمده از هر دو روش، با روش استاندارد جاروب z تا اندازه‌ی زیادی مطابقت دارد.

در فصل آخر چشم‌اندازی به ادامه‌ی کار ارائه می‌شود.

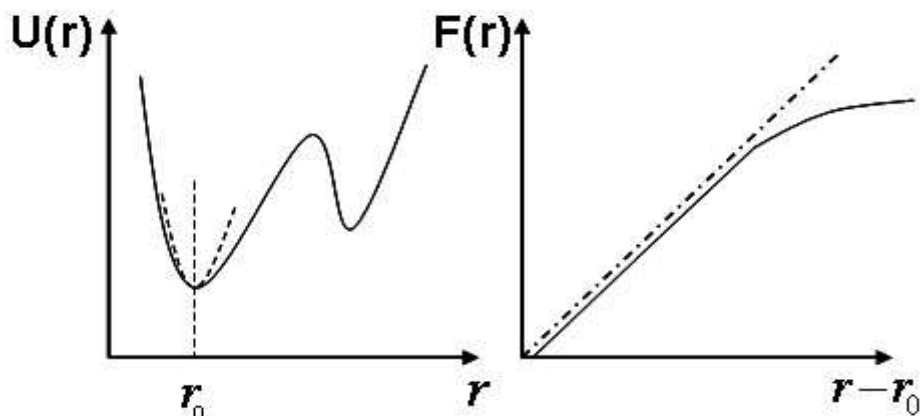
فصل اول

اپتیک غیرخطی

هنگامی که نور از میان ماده منتشر می‌شود، باعث به نوسان در آمدن بارهای اتمی می‌شود. در یک ماده خطی میزان جابه‌جایی بار، متناسب با اندازه میدان آنی به کار رفته است، و نوسان بارها مشابه نوسان میدان اعمالی است. برای یک ماده همسانگرد و همگن، نور تابیده شده در جهتی مشابه جهت نور فرودی منتشر می‌شود [۲].

در یک ماده‌ی غیرخطی، مقدار جابه‌جایی بار از نقطه تعادلش تابعی غیرخطی از میدان الکتریکی است. همه مواد هنگامی که در معرض نور با شدت به اندازه کافی بالا قرار می‌گیرند، پاسخ غیرخطی از خود نمایش می‌دهند. با استفاده از شکل صفحه‌ی بعد می‌توان پاسخ اپتیکی غیرخطی را بهتر درک کرد. شکل (۱-۱) انرژی پتانسیل نوعی و نیروی مؤثر اعمالی به بارهای ماده‌ی فرضی را نمایش می‌دهد [۳]. بار، کمترین انرژی را در r_0 دارد. برای نیروهای کوچک، جابه‌جایی بار اندک است و آن را با یک پتانسیل هارمونیک (منحنی نقطه چین سمت چپ) و یک نیروی خطی (منحنی نقطه چین سمت راست) می‌توان تقریب زد. هنگامی که جابه‌جایی از نقطه‌ی تعادل بزرگ می‌شود، تقریب هارمونیک شکسته شده و نیروی دیگر تابعی خطی از جابه‌جایی نخواهد بود. هنگامی که بارها در یک مولکول به یک پتانسیل هارمونیک محدود شده باشند، گشتاور دو قطبی القایی به‌طور خطی به میدان به کار رفته مربوط می‌شود. اگر بارها در یک مولکول به یک پتانسیل غیرهارمونیک محدود شده باشند، پاسخ مولکول غیرخطی است. در این مورد، گشتاور دو قطبی القایی تابعی غیرخطی از میدان به کار رفته

خواهد بود [۳].



شکل ۱-۱: منحنی انرژی پتانسیل (سمت چپ) و نیرو (سمت راست) به شکل تابعی از جابه جایی را نمایش می دهد [۳].

۱.۱ ضریب شکست غیرخطی

ضریب شکست تعداد زیادی از مواد اپتیکی، وابسته به شدت نور عبوری از ماده است [۴]. در این فصل توصیفی از ضریب شکست غیرخطی ارائه می شود.

هنگامی که به یک ماده میدان الکتریکی اعمال شود، در آن ماده گشتاور دو قطبی القاء می شود. قطبش \vec{P} که به صورت گشتاور دو قطبی القا شده در واحد حجم تعریف می شود، یک سری توانی از میدان الکتریکی \vec{E} است. هنگامی که ماده غیرخطی باشد، یعنی داشته باشیم [۵]،

$$\vec{P}(\vec{r}, t) = \vec{P}^{(0)}(\vec{r}, t) + \vec{P}^{(1)}(\vec{r}, t) + \vec{P}^{(2)}(\vec{r}, t) + \dots, \quad (1)$$

در این رابطه قطبش ها، $\vec{P}^{(n)}$ ، در جملات میدان های به کار رفته، \vec{E} ، به صورت زیر بیان می شوند.

$$\vec{P} = \vec{P}^{(0)} + \chi^{(1)} \cdot \vec{E} + \chi^{(2)} \cdot \vec{E}^2 + \dots \quad (2)$$

که $\chi^{(n)}$ پذیرفتاری مرتبه n ام است. با استفاده از روابط (۱) و (۲)، $\vec{P}^{(2)}$ قطبش غیرخطی مرتبه دوم و $\vec{P}^{(3)} = \chi^{(3)} \vec{E}^3$ قطبش غیرخطی مرتبه سوم و ... می باشند.

رابطه‌ی بین پذیرفتاری و ضریب شکست به صورت زیر تعریف می‌شود [۴]،

$$n^2 = 1 + 4\pi\chi, \quad (۳)$$

در عین حال ضریب شکست اغلب مواد با رابطه‌ی زیر توصیف می‌شود^۱،

$$n = n_0 + \bar{n}_2 < \vec{E}^2 >, \quad (۴)$$

که n_0 نمایش دهنده‌ی ضریب شکست میدان ضعیف، \bar{n}_2 ثابت اپتیکی جدید (ضریب شکست غیرخطی مرتبه‌ی دوم) و براکت بر روی میدان نمایش دهنده‌ی متوسط‌گیری زمانی است. اگر میدان اپتیکی به صورت زیر باشد،

$$\vec{E}(t) = E(\omega)e^{-i\omega t} + c.c., \quad (۵)$$

بعد از متوسط‌گیری زمانی داریم،

$$< \vec{E}^2(t) > = 2E(\omega)E^*(\omega) = 2|E(\omega)|^2, \quad (۶)$$

با استفاده از روابط (۴) و (۶) به نتیجه‌ی زیر می‌رسیم،

$$n = n_0 + 2\bar{n}_2|E(\omega)|^2. \quad (۷)$$

این رابطه به معنای آن است که تغییر ضریب شکست مواد متناسب با مربع شدت میدان به کار رفته است. برهم کنش نور با ماده‌ی اپتیکی غیرخطی در جملات قطبش غیرخطی قابل توصیف است. بخش قطبش غیرخطی، مطابق رابطه‌ی (۲)، انتشار باریکه با فرکانس ω را به صورت زیر تحت تأثیر قرار می‌دهد،

$$P^{(NL)}(\omega) = 3\chi^{(3)}|E(\omega)|^2E(\omega), \quad (۸)$$

برای ساده سازی در اینجا فرض شده است که قطبش نور خطی و همچنین ماده همسانگرد است. قطبش کل به صورت زیر بیان می‌شود.

$$P^{(TOT)}(\omega) = \chi^{(1)}E(\omega) + 3\chi^{(3)}|E(\omega)|^2E(\omega) \equiv \chi_{eff}E(\omega) \quad (۹)$$

^۱ علامت بار بر روی \bar{n}_2 به خاطر عدم تداخل با ضریب شکست غیرخطی n_2 است.

که پذیرفتاری مؤثر به صورت زیر تعریف می شود [۴].

$$\chi_{eff} = \chi^{(1)} + 3\chi^{(3)}|E(\omega)|^2 \quad (10)$$

همچنین با استفاده از روابط (۳)، (۷) و (۱۰) داریم،

$$\bar{n}_2 = \frac{3\pi\chi_{eff}}{n_0}. \quad (11)$$

با استفاده از روابط (۷) و (۱۰) و (۱۱) ضریب شکست وابسته به شدت به صورت زیر تعریف می شود،

$$n = n_0 + n_2 I, \quad (12)$$

که n_2 ضریب شکست غیرخطی است و شدت با میدان توسط رابطه زیر مربوط می شود،

$$I = \frac{n_0 c}{2\pi} |E(\omega)|^2. \quad (13)$$

۱.۱.۱ انواع فرآیندهای تغییر ضریب شکست

پدیده‌های اپتیکی غیرخطی به دو نوع، فرآیندهای الکترونیکی و غیرالکترونیکی تقسیم می شوند [۶]. مورد اول به برهم کنش‌های تابشی، بین الکترون و میدان الکتریکی نور مربوط می شود که معمولاً خیلی سریع، از مرتبه‌ی پیکوثانیه، هستند. به عنوان نمونه، تولید همافنگ دوم و سوم را می توان نام برد. فرآیندهای غیرالکترونیکی برهم کنش‌های غیرتابشی مثل تغییرات دما، چگالی و... هستند. در این فرآیندها معمولاً فرکانس جدیدی تولید نمی شود.

انواع فرآیندهای فیزیکی که باعث تغییر غیرخطی در ضریب شکست می شوند، در جدول (۱-۱) آورده شده است. ضریب شکست غیرخطی n_2 و همچنین زمان پاسخ این فرآیندها آورده شده است.

جدول (۱-۱) - مقادیر ضریب شکست غیرخطی [۴].

| سازوکار | $n_2(cm^2/W)$ | زمان پاسخ دهی (s) |
|------------------|---------------|-------------------|
| قطبش الکترونیکی | 10^{-16} | 10^{-15} |
| جهت گیری مولکولی | 10^{-14} | 10^{-12} |
| کشندگی الکتریکی | 10^{-14} | 10^{-9} |
| اثرات گرمایی | 10^{-6} | 10^{-3} |
| اثر نور شکستی | بزرگ | وابسته به شدت |

در بخش های زیر سازوکار جهت گیری مولکولی، الکتروتنگش و اثرات گرمایی بررسی شده است.

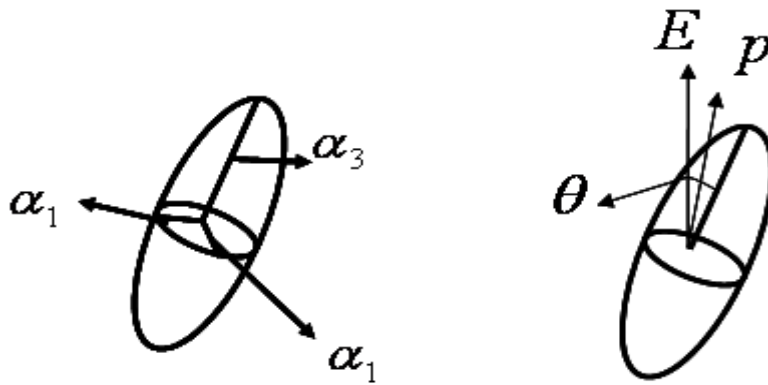
جهت گیری مولکولی

محلول های آلی تشکیل دهنده ی مولکول های غیرهمسانگرد، نوعاً با مقدار n_2 ی بزرگ، هستند. منشأ غیرخطیت در این محلول ها وابسته به جهت گیری مولکول ها با میدان اپتیکی به کار رفته است. به عنوان مثال کرین دی سولفات (CS_2)، مطابق شکل (۱-۲)، یک مولکول سیگاری شکل دارد. قطبش پذیری این مولکول که به وسیله ی یک میدان تجربه می شود، در دو راستا متفاوت است در راستای محور تقارن آن بزرگ تر از راستای عمود بر محور تقارن آن است،

$$\alpha_3 > \alpha_1.$$

با اعمال میدان DC در جهت نمایش داده شده به مولکول و با توجه به یکسان نبودن قطبش پذیری در راستای محور تقارن و راستای عمود بر آن، گشتاور دو قطبی p موازی میدان نخواهد بود و باعث ایجاد گشتاور و جهت گیری آن با میدان می شود. این جهت گیری با تحریکات گرمایی تحت تأثیر قرار می گیرند و منجر به جهت گیری کاتوره ای مولکول ها می شود.

فاکتور بولتزمن در محاسبه ی درجه ی میانگین جهت گیری مولکولی، به حساب آورده می شود. همچنین با فرض میدان اپتیکی ضعیف، تغییرات ضریب شکست وابسته به برهم کنش غیرخطی به شکل زیر به دست



شکل ۱-۲: نمایش دهنده‌ی یک مولکول سیگاری شکل فرضی مثل CS_2 (سمت چپ) و گشتاور دو قطبی القاء شده (سمت راست) توسط میدان الکتریکی است [۴].

می آید [۴]،

$$\delta n = \frac{4\pi N}{45n_0} (\alpha_3 - \alpha_1)^2 \frac{\overline{E^2}}{kT}.$$

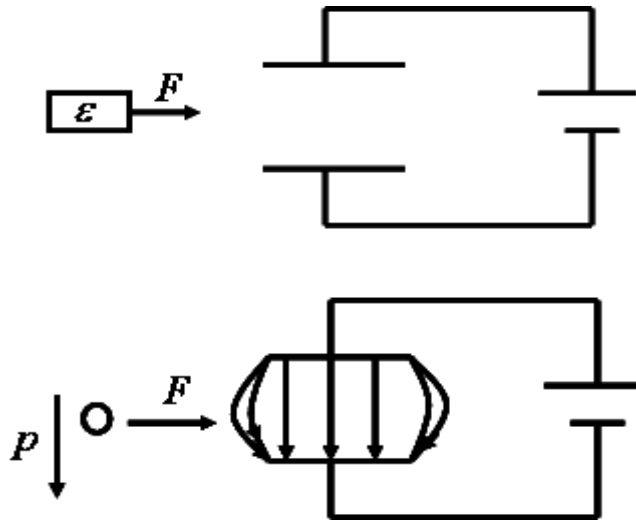
که N دانسیته‌ی تعداد مولکولها، T دما و n_0 ضریب شکست محیط است. با استفاده از رابطه‌ی (۳) و با در نظر گرفتن اثرات تصحیح میدان موضعی^۲، ضریب شکست غیرخطی مرتبه‌ی دوم به صورت زیر خواهد شد [۴]،

$$\overline{n}_2 = \frac{4\pi N}{45n_0 kT} \left(\frac{n_0^2 + 2}{3} \right)^4 (\alpha_3 - \alpha_1)^2.$$

الکتروتنگش

الکتروتنگش خصوصیت همه‌ی مواد غیرهادی یا دی‌الکتریک‌ها است، به صورتی که تحت اثر میدان الکتریکی این مواد تغییر شکل می‌دهند (در مقابل مغناطیس‌تنگش) [۷]. مبدأ این اثر در رفتار قطعه‌ای دی‌الکتریک که در میدان الکتریکی بین صفحات خازن قرار گرفته، قابل توجیه است. مطابق شکل (۱-۳) نیرویی باعث کشیدن این قطعه به سمت میدان با شدت بیشتر می‌شود. منشأ این نیرو به ماکزیم‌سازی انرژی پتانسیل برمی‌گردد.

^۲ localized



شکل ۱-۳: منشأ الکتروتنگش: (بالا) یک قطعه دی‌الکتریک، (پایین) یک مولکول نزدیک به صفحات موازی خازن [۴].

انرژی پتانسیل بر واحد حجم این ماده، بعد از اعمال میدان نسبت به قبل از آن به مقدار زیر تغییر می‌کند،

$$u = \frac{\epsilon E^2}{8\pi},$$

که ϵ ثابت دی‌الکتریک ماده است و انرژی پتانسیل سیستم به مقدار $\int u dV$ افزایش می‌یابد. با استفاده از رابطه‌ی (۲) نیروی به کار رفته روی یک مولکول از ماده به صورت زیر است،

$$F = -\nabla U = \frac{1}{2} \chi \nabla (E^2).$$

رابطه‌ی بالا نمایش دهنده‌ی این است که هر مولکول به سمت میدان بیشتر کشیده می‌شود. با فرض این که ماده‌ی دی‌الکتریک، مایعی همسانگرد است، میدان الکتریکی باعث ایجاد تغییر چگالی مایع بین صفحات خازن می‌شود. تغییر چگالی باعث تغییر در ثابت دی‌الکتریک به صورت زیر می‌شود،

$$\Delta \epsilon = \frac{\partial \epsilon}{\partial \rho} \Delta \rho. \quad (14)$$

در نتیجه تغییر چگالی انرژی به صورت زیر در می‌آید،

$$\Delta u = \frac{E^2}{8\pi} \Delta \epsilon = \frac{E^2}{8\pi} \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial \rho} \Delta \rho \right).$$

با استفاده از قانون اول ترمودینامیک انرژی مساوی با کار انجام شده در ماده است. کار انجام شده بر واحد

حجم به صورت زیر است،

$$\Delta w = p_{st} \frac{\Delta \rho}{\rho}.$$

که سهم فشار ماده در حضور میدان الکتریکی است. با مساوی قرار دادن Δw با Δu ، فشار الکترونگشی به صورت زیر به دست می آید،

$$p_{st} = -\rho \frac{\partial \epsilon}{\partial \rho} \frac{E^2}{8\pi} \equiv -\gamma_e \frac{E^2}{8\pi}, \quad (15)$$

که $\gamma_e = \rho \partial \epsilon / \partial \rho$ ثابت الکترونگشی است. فشار نهایی در ناحیه‌هایی که شدت میدان بیشتر است، کاهش می‌یابد، در نتیجه p_{st} منفی است. میزان تغییرات چگالی $\Delta \rho = -(\frac{\partial \rho}{\partial p}) \Delta p$ ، با استفاده از رابطه‌ی (15) به صورت زیر به دست می آید،

$$\Delta \rho = -\rho \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial p} \right) p_{st} \equiv -\rho C p_{st},$$

$$\Delta \rho = \rho C \gamma_e \frac{E^2}{8\pi},$$

که $C = (1/\rho) \partial \rho / \partial P$ فشارپذیری است. تغییر در پذیرفتاری الکتریکی در حضور میدان به شکل $\Delta \chi = \Delta \epsilon / 4\pi$ تعریف می‌شود. با استفاده از رابطه‌ی (14) داریم،

$$\Delta \chi = \frac{1}{32\pi^2} C \gamma_e^2 \langle \tilde{E}^2 \rangle.$$

با فرض اعمال میدان اپتیکی تکفام، قطبش غیرخطی که از این تغییر پذیرفتاری نتیجه می‌شود، به صورت زیر است،

$$P = \frac{1}{16\pi^2} C_T \gamma_e^2 |E|^2 E$$

و با استفاده از رابطه‌ی (8) پذیرفتاری غیرخطی مرتبه‌ی سوم به صورت زیر به دست می آید،

$$\chi^{(3)} = \frac{1}{48\pi^2} C_T \gamma_e^2.$$

که C_T فشارپذیری در دمای ثابت است [4].

اثرات گرمایی

در این بخش اثرات گرمایی تولید کننده‌ی تغییرات ضریب شکست مورد بررسی قرار می‌گیرد. باریکه‌ی لیزر به نمونه برخورد می‌کند. این باریکه در حین عبور از نمونه توسط نمونه جذب می‌شود، و گرادیان دما در مقطع باریکه و در داخل نمونه ایجاد می‌کند. این گرادیان دما منجر به ایجاد گرادیان ضریب شکست می‌شود. معمولاً این تغییر ضریب شکست با افزایش دما منفی و عدسی ایجاد شده شبیه عدسی واگرا است. در بعضی نیمه‌هادی‌ها لبه‌ی باند جذبی با افزایش دما انتقال به سرخ^۳ خواهد داشت (اثر فرانز-کلدیش^۴)، این پدیده باعث ایجاد تغییر ضریب شکست مثبت می‌شود. تغییر ضریب شکست ایجاد شده، عدسی گرمایی نامیده می‌شود. گسترش این باریکه در هر دو میدان نزدیک و دور به عنوان پدیده‌ی شکوفه‌سازی گرمایی^۵ شناخته می‌شود [۱]. با اعمال مداوم میدان اپتیکی، عدسی گرمایی در نمونه ایجاد و قدرت آن پس از زمان مشخصی به بیشینه مقدار خود می‌رسد.

شکل‌گیری این نوع عدسی‌های گرمایی در مقیاس ده‌ها میکروثانیه تا صدها میلی‌ثانیه رخ می‌دهد. شکل‌گیری عدسی گرمایی در نمونه، پدیده خودهم‌گرایی یا خودواگرایی برای باریکه‌ی عبوری از نمونه اتفاق می‌افتد.

اثر عدسی گرمایی اولین بار توسط گردن و همکارانش در سال ۱۹۶۵ مشاهده شد [۸]. آن‌ها در چیدمانی که به منظور مطالعه‌ی طیف رامان در مایعات چیده بودند، اثر عدسی گرمایی را مشاهده کردند. در گزارشی که آن‌ها دادند، ضمن توصیف مهم‌ترین مشاهدات در آزمایش، اثر عدسی ایجاد شده در نمونه را شرح دادند و با اندازه‌گیری شعاع انحنای باریکه‌ی منحرف شده، تغییرات ضریب شکست ایجاد شده در نمونه را به دست آوردند.

۲.۱.۱ محاسبه‌ی تغییرات دما در امتداد شعاع باریکه

آهنگ شارش گرما به صورت زیر تعریف می‌شود،

$$-kS \frac{d\theta}{dx} = \frac{dQ}{dt} = \dot{Q}, \quad (16)$$

^۳ red-shift

^۴ Franz- Keldish

^۵ Thermal Blooming