

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



دانشگاه ملایر

دانشکده علوم پایه - گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک (گرایش حالت جامد)

بیضی سنجی عددی لایه های نازک ناهمسانگرد

به وسیله ی :

فرزاد وزیری علمدارلو

استاد راهنما :

دکتر مسعود رضوانی جلال

شهریور ۱۳۹۲

تقدیم به

پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم

و تقدیم به

معلنان عزیزمی که نه تنها با آموختن علم، بلکه با آموزش روش درست آزاد اندیشیدن و پای بندی به اصول اخلاق حرفه ای،
بهواره انسانهارا از آسیب کج فنی، تعصب و کمراهی دور نگه داشته و راه زندگی درست و آزادی را می آموزند. من بهواره خود را
به چنین معلنان ارزشمندی مدیون دانسته و با استفاده از این فرصت به ساحت آنان ادای احترام میکنم.

و تقدیم به

بزرگمرد ایل قشقایی، استاد عشق، بنیانگذار آموزش عشایر

در ایران، محمد بهمن بیگی روحش شاد و یادش گرامی

تقدیر و تشکر

سپاس خدای را که سخنوران، دستودن او بماند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را
گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان و امدار وجودشان
است؛ و نفرین پیوسته بردشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی سائبه می او، بازبان
قاصر و دست ناتوان، چیزی بجاایم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تا این می کند و سلامت
امانت الهی را که بدستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یسکر المنعم من المخلوقین لم یسکر
الله عزوجل":

از پدر و مادر عزیزم... این دو معلم بزرگوارم... و خانواده مهربانم که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیده و
کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاور می بی چشم داشت برای من بوده اند؛

از استاد با کمالت و شایسته؛ جناب آقای دکتر مسعود رضوانی جلال که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از
پیچ گلگی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛
از رهروان طریقت حب و دوستی، آنان که امید و اعتماد را در قلمم پروراندند آقایان
احمدی، جانزاده، توکل، دوسی، شیخی و دیگر دوستان که همیشه یا در بی دریغ روزهای سخت بوده اند؛
و شکر از همه کسانی که بجز این بعد انسانی و وجدانی خود را فراموش نمی کنند و بر آستان گران سنگ انسانیت سر
فروزمی آورند و انسان را با همه تفاوتهاش ارج می نهند.
باشد که این خردترین، نجشی از زحمات آنان را پاس گوید.

نام خانوادگی دانشجو : وزیری علمدارلو	نام : فرزاد
عنوان پایان نامه : بیضی سنجی عددی لایه های نازک ناهمسانگرد	
استاد راهنما : دکتر مسعود رضوانی جلال	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک
دانشگاه ملایر- گروه: فیزیک	گرایش: حالت جامد
تعداد صفحات: ۱۰۶	تاریخ فارغ التحصیلی : شهریور ۱۳۹۲
کلید واژه : بیضی سنجی عددی، لایه نازک ناهمسانگرد	

چکیده:

بیضی سنجی یک روش اپتیکی غیر مخرب و غیر تماسی برای مشخصه یابی سطوح مشترک و لایه های نازک است. این روش بر اساس تغییر قطبش نور به هنگام انعکاس از سطوح استوار است. با انجام بیضی سنجی های عددی و مقایسه آنها با داده های بیضی سنجی تجربی می توان مدل های فیزیکی مناسبی برای سطوح و لایه های نازک ارائه داد. هدف اصلی در این پایان نامه طراحی و اجرای یک کد رایانه ای برای انجام بیضی سنجی عددی از لایه های نازک ناهمسانگرد است.

در این کار پژوهشی، ابتدا در فصل اول معرفی کلی قطبش نور و تکنیک بیضی سنجی انجام می شود. در فصل دوم، محیط های ناهمسانگرد اپتیکی معرفی می شوند. همچنین انتشار موج تخت تکفام در محیط ناهمسانگرد مورد بررسی قرار می گیرد و فرمول بندی حاکم بر انتشار به صورت تحلیلی و نظری به دست می آید. در فصل سوم، ابتدا مسئله بازتاب و شکست از سطح مشترک تخت بین یک محیط همسانگرد و یک محیط دو شکستی مورد بررسی قرار می گیرد. با استفاده از نتایج به دست آمده از این بررسی، حل عددی بیضی سنجی (تک طول موج) برای بررسی ضخامت لایه های نازک دو شکستی در فصل مشترک بین دو

محیط همسانگرد مورد بررسی قرار می گیرد. با انجام محاسبات توسط برنامه رایانه ای طراحی شده برای فرود نور تک طول موج با اسکن زاویه ای، بستگی ضخامت لایه نازک دو شکستی از طریق تعیین ضرایب انعکاس دامنه مشخص شده و نتایج ارائه می شود. در فصل چهارم، ابتدا حل عددی بیضی سنجی طیف‌نگاری (نور فرودی با جهت گیری ثابت و اسکن طول موجی) برای بررسی ضخامت لایه نازک دو شکستی در فصل مشترک بین دو محیط همسانگرد انجام می شود. همچنین یک مدل کیفی در جهت شناسایی لایه نازک ناهمسانگرد در محیط آزمایشگاه به دست می آید که اساس آن ترسیم ضرایب انعکاس بر حسب طول موج نور فرودی است. در پایان فصل چهارم حل دقیقی از بیضی سنجی که برای تمامی ناهمسانگردی ها نتیجه قابل قبولی داشته باشد، انجام می گیرد. برنامه نوشته شده برای انواع لایه های نازک با ناهمسانگردی های مختلف کاربرد دارد. این برنامه (که در پیوست موجود است) به عنوان برنامه نهایی معرفی می شود. در فصل پنجم، نتایج کلی به دست آمده از این پژوهش ذکر می شود و همچنین پیشنهاد هایی نیز در راستای تکمیل کردن این پژوهش بیان می گردد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول
۱	قطبش نور و بیضی سنجی
۲	(۱-۱) مقدمه
۲	(۲-۱) قطبش
۳	(۱-۲-۱) معرفی نور قطبیده
۳	(۲-۲-۱) حالت های قطبش امواج نور
۶	(۳-۱) عناصر اپتیکی
۷	(۱-۳-۱) قطبشگر
۷	(۲-۳-۱) جبران کننده (تأخیر انداز)
۷	(۳-۳-۱) مدولاتور فوتو الاستیک
۸	(۴-۳-۱) واقظبنده
۸	(۴-۱) ماتریس جونز
۸	(۱-۴-۱) بردار جونز
۱۰	(۲-۴-۱) تبدیل سیستم مختصات
۱۱	(۵-۱) پارامتر های استوکس
۱۱	(۱-۵-۱) تعریف پارامتر های استوکس
۱۴	(۲-۵-۱) کره ی پوانکاره
۱۸	(۶-۱) بیضی سنجی

۱۸	..... (۱-۶-۱) ویژگی های بیضی سنجی طیف نگاری
۱۹	..... (۲-۶-۱) مزایا و معایب بیضی سنجی
۱۹	..... (۳-۶-۱) کاربرد های بیضی سنجی طیف نگاری
۲۲	..... (۷-۱) اصول بیضی سنجی طیف نگاری
۲۳	..... (۱-۷-۱) مقادیر اندازه گیری شده در بیضی سنجی
۲۵	..... (۲-۷-۱) روش های اندازه گیری بیضی سنجی
۲۸	..... فصل دوم
۲۸	..... محیط های ناهمسانگرد اپتیکی
۲۹	..... (۱-۲) انعکاس و عبور نور از مواد ناهمسانگرد
۲۹	..... (۱-۱-۲) انتشار نور در محیط ناهمسانگرد
۳۵	..... (۲-۲) بیضی گون ضریب شکست
۳۸	..... (۳-۲) تانسور دی الکتریک
۴۰	..... (۴-۲) فرمول بندی حاکم بر انتشار امواج الکترومغناطیسی در محیط ناهمسانگرد
۴۰	..... (۱-۴-۲) انتشار موج تخت تکفام در محیط ناهمسانگرد
۴۴	..... فصل سوم
۴۴	..... بیضی سنجی عددی از سطح مشترک محیط های همسانگرد و دو شکستی
۴۵	..... (۱-۳) مقدمه
۴۶	..... (۲-۳) شرایط مرزی
۴۷	..... (۳-۳) بازتاب و شکست از سطح مشترک محیط همسانگرد و محیط ناهمسانگرد
۴۸	..... (۱-۳-۳) تحلیل نظری بازتاب و شکست
۵۰	..... (۲-۳-۳) زاویه حد

۵۱	..... زاویه بروستر (۳-۳-۳)
۵۱	..... محاسبات عددی (۴-۳-۳)
۵۸	..... بیضی سنجی عددی از لایه های نازک دو شکستی (۴-۳)
۵۹	..... بررسی تحلیلی و نظری بیضی سنجی لایه نازک دو شکستی (۱-۴-۳)
۶۱	..... محاسبات عددی (۲-۴-۳)
۶۶	..... فصل چهارم
۶۶	..... بیضی سنجی طیف نگاری لایه نازک دو شکستی
۶۷	..... (۱-۴) مقدمه
۶۸	..... (۲-۴) بیضی سنجی طیف نگاری عددی از لایه های نازک دو شکستی
۶۸	..... (۱-۲-۴) بررسی تحلیلی و نظری بیضی سنجی طیف نگاری لایه نازک دو شکستی
۶۹	..... (۲-۲-۴) محاسبات عددی
۷۴	..... (۳-۴) مدل زنی کیفی در جهت شناسایی لایه نازک ناهمسانگرد
۷۴	..... (۱-۳-۴) محاسبات عددی
۷۸	..... (۴-۴) حل دقیق بیضی سنجی عددی از لایه نازک دو شکستی
۸۲	..... فصل پنجم
۸۲	..... نتیجه گیری و پیشنهاد ها
۸۳	..... (۱-۵) نتیجه گیری
۸۶	..... (۲-۵) پیشنهاد ها
۸۸	..... پیوست
۸۹	..... پیوست ۱:
۱۰۳	..... مراجع

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: نمایشی از الف) قطبش خطی، ب) قطبش دایروی راستگرد، ج) قطبش بیضوی.. ۵	
شکل ۱-۲: تغییر حالت قطبش با اختلاف فاز بین مؤلفه های میدان الکتریکی، در این شکل دامنه های امواج در راستای محور x و محور y یکسان است $(E_{x0} = E_{y0})$ ۶	
شکل ۱-۳: تبدیل مختصات $x-y$ به مختصات $x'-y'$ از طریق دوران سیستم مختصات. ۱۰	
شکل ۱-۴: طرحواره ای از تعریف پارامتر های استوکس..... ۱۲	
شکل ۱-۵: نمایش قطبش به وسیله کره پوانکاره..... ۱۵	
شکل ۱-۶: نمایش های قطبش بیضوی الف) سیستم مختصات (\mathcal{E}, θ) ب) سیستم مختصات (ψ, Δ) ۱۵	
شکل ۱-۷: نمایش نقطه p روی سطح کره پوانکاره با استفاده از مختصات (\mathcal{E}, θ) ۱۶	
شکل ۱-۸: مشخصه یابی خواص فیزیکی به وسیله بیضی سنجی طیف نگاری..... ۲۰	
شکل ۱-۹: مشخصه یابی ساختار های لایه نازک از طریق بیضی سنجی طیف نگاری زمان واقعی..... ۲۲	
شکل ۱-۱۰: اساس اندازه گیری بیضی سنجی..... ۲۳	
شکل ۱-۱۱: پیکربندی های نوری دستگاه های بیضی سنجی، (a) بیضی سنجی آنالیزور چرخان، (b) بیضی سنجی آنالیزور چرخان با جبران کننده، (c) بیضی سنجی جبران کننده چرخان، (d) بیضی سنجی مدولاسیون فازی..... ۲۶	
شکل ۲-۱: انتشار نور در (a) محیط تک محوری $(n_x = n_y < n_z)$ و (b) محیط دو محوری ۳۱	

شکل ۲-۲: انتشار نور در (الف) محیط تک محوری مثبت و (ب) محیط تک محوری منفی.

۳۲.....

شکل ۲-۳: تابش موجک ها در جهت های a ، b ، و c نشان داده شده در شکل ۲-۲، (a)-(c)

پرتو عادی و (d)-(f) پرتو غیر عادی. K و s_p به ترتیب نشان دهنده بردار انتشار و بردار

پوئین تینگ، و D جابجایی الکتریکی را نشان می دهد. ۳۳.....

شکل ۲-۴: بیضی گون ضریب شکست (a) مواد همسانگرد ($n_x = n_y = n_z$)، (b) مواد

ناهمسانگرد تک محوری ($n_x = n_y < n_z$)، و (c) مواد ناهمسانگرد دو محوری

($n_x < n_y < n_z$)..... ۳۷.....

شکل ۲-۵: امواج نور در داخل یک محیط ناهمسانگرد در جهت K ، از سطح مقطع

بیضی گون، ضرایب شکست برای جابجایی های الکتریکی D_1 و D_2 به ترتیب توسط n_1 و

n_2 مشخص شده است. ۳۷.....

شکل ۳-۱: طرحواره بازتاب و شکست از سطح مشترک تخت محیط همسانگرد و محیط

دو شکستی. محورهای مشکی نشان دهنده محورهای اصلی، محورهای سبز رنگ نشان

دهنده بردار انتشار موج فرودی، انعکاسی، و شکستی، و خط قهوه ای هم نشان دهنده بردار

عمود بر سطح می باشند. ۴۹.....

شکل ۳-۲: ضریب انعکاس از محیط دو شکستی برای فرودی با قطبش s که منجر به بازتابش

قطبش s (الف)، و قطبش p (ب)، شده است. ۵۳.....

شکل ۳-۳: ضریب انعکاس از محیط دو شکستی برای فرودی با قطبش p که منجر به

بازتابش قطبش s (الف)، و قطبش p (ب)، شده است. ۵۴.....

شکل ۳-۴: زاویه بروستر برای دو باریکه شکسته شده بر حسب زوایای سمتی فرود. ۵۵.....

شکل ۳-۵: زاویه بروستر (الف)، و زاویه حد (ب)، برای فرود از محیط همسانگرد غلیظ به

محیط دو شکستی رقیق. ۵۶.....

شکل ۳-۶: زاویه حد (الف)، و زاویه بروستر (ب)، برای فرود از محیط همسانگرد غلیظ به

محیط همسانگرد رقیق. ۵۷.....

شکل ۳-۷: طرحواره ای از لایه نازک دو شکستی بین دو محیط همسانگرد. محور های x ، y ، و z نشان دهنده محور های اصلی لایه نازک دو شکستی است. ۵۹

شکل ۳-۸: ضریب انعکاس کل برای لایه نازک دو شکستی به ضخامت $d=5\mu m$ برای فرودی با قطبش دایروی که منجر به بازتابش قطبش s (الف)، و قطبش p (ب) شده است... ۶۲

شکل ۳-۹: ضریب انعکاس کل برای لایه نازک دو شکستی به ضخامت $d=10\mu m$ برای فرودی با قطبش دایروی که منجر به بازتابش قطبش s (الف)، و قطبش p (ب) شده است... ۶۳

شکل ۳-۱۰: ضریب انعکاس کل برای لایه نازک تقریباً همسانگرد به ضخامت $d=5\mu m$ برای فرودی با قطبش دایروی که منجر به بازتابش قطبش s (الف)، و قطبش p (ب) شده است... ۶۴

شکل ۴-۱: ضریب انعکاس کل برای لایه نازک دو شکستی به ضخامت $d=10\mu m$ برای فرود نور مرئی با قطبش دایروی که منجر به بازتابش قطبش s (الف)، و قطبش p (ب) شده است. ۷۰

شکل ۴-۲: ضریب انعکاس کل برای لایه نازک دو شکستی به ضخامت $d=20\mu m$ برای فرود نور مرئی با قطبش دایروی که منجر به بازتابش قطبش s (الف)، و قطبش p (ب) شده است. ۷۱

شکل ۴-۳: ضریب انعکاس کل برای لایه نازک دو شکستی به ضخامت $d=30\mu m$ برای فرود نور مرئی با قطبش دایروی که منجر به بازتابش قطبش s (الف)، و قطبش p (ب) شده است. ۷۲

شکل ۴-۴: ضریب انعکاس کل برای لایه نازک تقریباً همسانگرد به ضخامت $d=10\mu m$ برای فرود نور مرئی با قطبش دایروی که منجر به بازتابش قطبش s (الف)، و قطبش p (ب) شده است. ۷۳

شکل ۴-۵: ضریب انعکاس کل از لایه نازک برای قطبش p (الف) تا (د) به ترتیب خاصیت ناهمسانگردی لایه نازک افزایش می یابد. ۷۵

شکل ۴-۶: ضریب انعکاس کل از لایه نازک برای قطبش p (الف) تا (د) به ترتیب خاصیت ناهمسانگردی لایه نازک افزایش می یابد. ۷۶

شکل ۴-۷: ضریب انعکاس قطبش p از لایه نازک دو شکستی به ضخامت $d=10\mu m$ ۷۷

شکل ۴-۸: ضریب انعکاس کل از حل دقیق برای لایه نازک دو شکستی به ضخامت $d=5\mu m$

، برای فرودی با قطبش دایروی که منجر به بازتابش قطبش s (الف)، و قطبش p (ب) شده

است..... ۷۹

شکل ۴-۹: ضریب انعکاس کل از حل تقریبی برای لایه نازک دو شکستی (با ناهمسانگردی

کم) به ضخامت $d=5\mu m$ برای فرودی با قطبش دایروی که منجر به بازتابش قطبش s (الف)،

و قطبش p (ب) شده است..... ۸۰

شکل ۴-۱۰: ضریب انعکاس کل از حل دقیق برای لایه نازک دو شکستی (با ناهمسانگردی

کم) به ضخامت $d=5\mu m$ برای فرودی با قطبش دایروی که منجر به بازتابش قطبش s (الف)،

و قطبش p (ب) شده است..... ۸۱

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۱۷	جدول ۱-۱: پارامترهای استوکس (s_{0-3})
۲۷	جدول ۱-۲: مشخصه های دستگاه های بیضی سنجی طیف نگاری

فصل اول

قطبش نور و بیضی سنجی

۱-۱) مقدمه

بیضی‌سنجی^۱ یک روش اپتیکی غیر مخرب و غیر تماسی برای مشخصه‌یابی سطوح مشترک و لایه‌های نازک است. در کل، بیضی‌سنجی یک روش اندازه‌گیری نوری است که انعکاس (یا عبور) نور از نمونه‌ها را مشخص می‌کند [۴،۳،۲،۱]. ویژگی کلیدی بیضی‌سنجی، اندازه‌گیری تغییر در حالت نور قطبیده پس از انعکاس (یا عبور) نور از نمونه می‌باشد. اسم بیضی‌سنجی از این حقیقت نشأت می‌گیرد که حالت قطبش نور قطبیده، پس از انعکاس از نمونه اغلب به صورت بیضوی می‌باشد. در این فصل بررسی قطبش و نحوه اندازه‌گیری قطبش، و نیز ارتباط آنها با پارامترهای بیضی‌سنجی انجام می‌شود. همچنین معرفی پیکربندی‌های بیضی‌سنجی، مزایا و معایب هر یک، و نحوه استخراج خواص فیزیکی مربوط به نمونه‌ها به تفصیل بررسی می‌شوند.

۲-۱) قطبش^۲

در بیضی‌سنجی طیف‌نگاری^۳، ثابت‌های اپتیکی مواد و خواص نمونه‌ها با استفاده از تغییر به وجود آمده در حالت قطبش نور فرودی، پس از انعکاس (یا عبور) نور از نمونه به دست می‌آید. در این قسمت به طور مروری ابتدا به قطبش نور پرداخته می‌شود که یک پایه قوی برای فهم تکنیک بیضی‌سنجی فراهم می‌سازد. همچنین در این قسمت عناصر اپتیکی مختلف که در اندازه‌گیری بیضی‌سنجی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند معرفی

^۱ Ellipsometry

^۲ Polarization

^۳ Spectroscopic Ellipsometry

می شوند. برای بررسی قطبش نور (جهت درک اصول اندازه گیری بیضی سنجی) پارامترهای استوکس^۱ و بردار جونز^۲ معرفی می گردند. پارامترهای استوکس و بردار جونز ما را در بررسی و توصیف ریاضی قطبش نور توانمند می سازند.

۱-۲-۱) معرفی نور قطبیده

قطبش یکی از ویژگی های امواج الکترومغناطیسی عرضی است. نور که به عنوان موج الکترومغناطیسی عرضی شناخته شده است، به میدان های الکتریکی و مغناطیسی نوسان کننده در صفحه عمود بر راستای انتشار گفته می شود [۵]. قطبش را جهت گیری های دامنه میدان الکتریکی یک موج الکترومغناطیسی عرضی تعیین می کنند. اگر میدان الکتریکی مؤلفه ای در راستای موازی صفحه تابش داشته باشد، قطبش p و اگر میدان الکتریکی مؤلفه ای در راستای عمود بر صفحه تابش داشته باشد قطبش s گویند. بنابراین هنگامی که میدان های الکتریکی امواج نور در جهت های بخصوصی قرار گیرند، چنین نوری به عنوان نور قطبیده معرفی می شود. اگر جهت گیری میدان های الکتریکی امواج نور به طور کامل کاتوره ای باشد، نور غیر قطبی^۳ (نور طبیعی) نامیده می شود. وقتی که امواج نور به طور یکنواخت در جهت یکسانی انتشار می یابند، قطبش از طریق بر هم نهی هر میدان الکتریکی بیان می شود در این حالت اختلاف فاز بین مؤلفه های میدان الکتریکی به منظور توصیف وضعیت قطبش اندازه گیری می شوند.

۱-۲-۲) حالت های قطبش امواج نور

برای این کار میدان های الکتریکی مربوط به امواج الکترومغناطیسی عرضی منتشر شده در هر جهت، و هر محیطی با استفاده از معادلات ماکسول و اعمال شرایط مرزی مناسب به دست می آیند. به عنوان مثال، برای توصیف حالت های مختلف قطبش نور، انتشار موج تخت تکفام در راستای محور z در نظر گرفته می شود و میدان های الکتریکی مربوطه با اعمال شرایط مرزی مناسب تعیین می شوند [۳]. حالت قطبش نور انتشار یافته در امتداد محور z ، به وسیله

^۱ Stokes Parameters
^۲ Jones Vector
^۳ Unpolarized

بر هم نهی دو میدان الکتریکی که جهتشان موازی محور های x و y است شرح داده می شود. در این حالت موج الکترومغناطیسی پیش رونده در امتداد محور z به صورت جمع برداری میدان های الکتریکی E_x و E_y است و مطابق (۱-۱) بیان می شود.

$$\begin{aligned}\vec{E}(z,t) &= \vec{E}_x(z,t) + \vec{E}_y(z,t) \\ &= \{E_{x0} \exp[i(\omega t - kz + \delta_x)]\} \hat{x} + \{E_{y0} \exp[i(\omega t - kz + \delta_y)]\} \hat{y}\end{aligned}\quad (1-1)$$

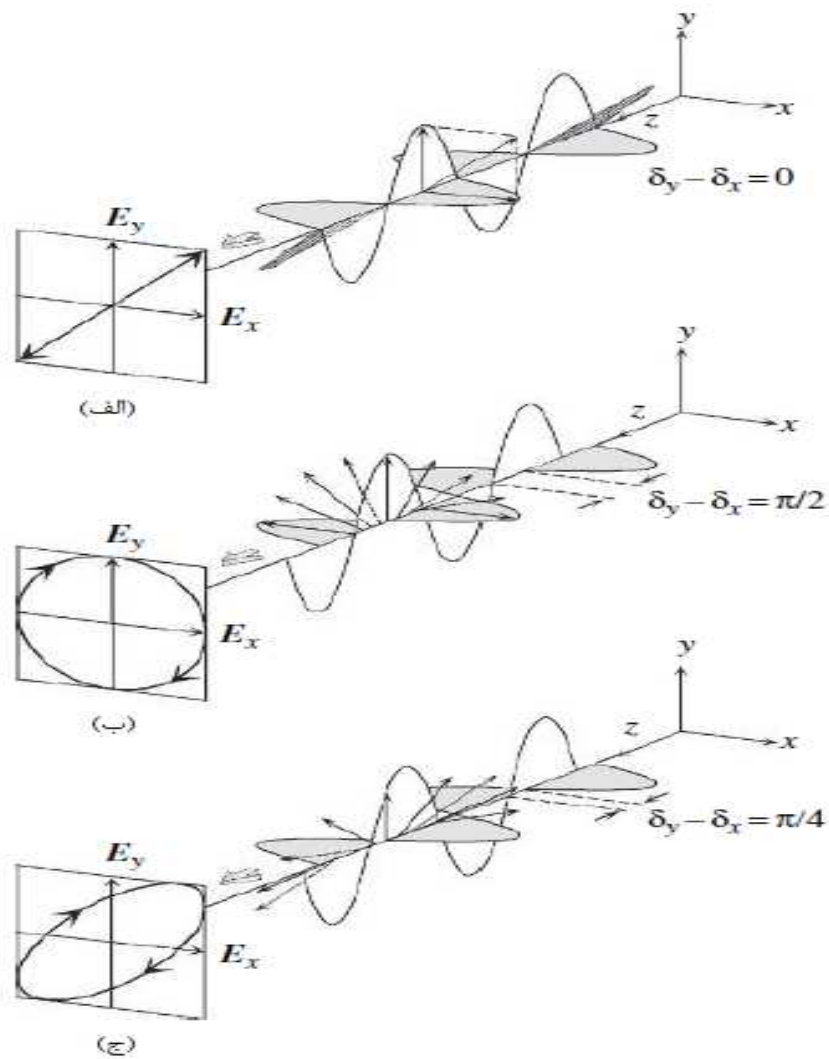
که \hat{x} و \hat{y} بردار های یکه در امتداد محور های مختصات است، و δ_x و δ_y فاز مربوط به هر یک از مؤلفه های میدان الکتریکی را نشان می دهد. هنگامی که حالت قطبش بررسی می شود، مقادیر مطلق فاز های اولیه (δ_x, δ_y) نیاز نیست، و فقط اختلاف فاز نسبی $\delta_y - \delta_x$ (یا $\delta_x - \delta_y$) در نظر گرفته می شود. به طور مشابه در بیضی سنجی طیف نگاری نیز فقط اختلاف فاز محاسبه می گردد.

شکل ۱-۱ تغییر حالت قطبش را با اختلاف فاز $\delta_y - \delta_x$ نشان می دهد. در این شکل به صورت فرضی $E_{x0} = E_{y0}$ در نظر گرفته شده است. همان طور که در شکل ۱-۱ الف نشان داده شده است وقتی که $\delta_y - \delta_x = 0$ باشد، هیچ اختلاف فازی بین E_x و E_y وجود ندارد و جهت گیری بردار ترکیبی $(E_x + E_y)$ در صفحه $x-y$ همیشه 45° درجه می باشد. به عبارت دیگر یک موج الکترومغناطیسی در جهت 45° می تواند به دو موج الکترومغناطیسی، موازی محور های x و y تجزیه شود. حالت قطبش نشان داده شده در شکل ۱-۱ الف اشاره به قطبش خطی^۱ دارد. هنگامی که اختلاف فاز بین مؤلفه های میدان الکتریکی در راستای محور x و y ، 90° درجه باشد، بردار ترکیبی در صفحه $x-y$ در امتداد انتشار نور می چرخد. این حالت قطبش نشان داده شده در شکل ۱-۱ ب اشاره به قطبش دایروی^۲ دارد. همان طور که از شکل ۱-۱ ب تأیید می شود، چون $\delta_y - \delta_x = \frac{\pi}{2}$ است نوسان موج در امتداد محور y در مقایسه با نوسان نور در امتداد محور x به اندازه $\frac{\pi}{2}$ پیشروی به جلو دارد. در شکل ۱-۱ ب اگر یک نقطه بر روی محور z انتخاب شود بردار ترکیبی روی نقطه، به

^۱ Linear Polarization

^۲ Circular Polarization

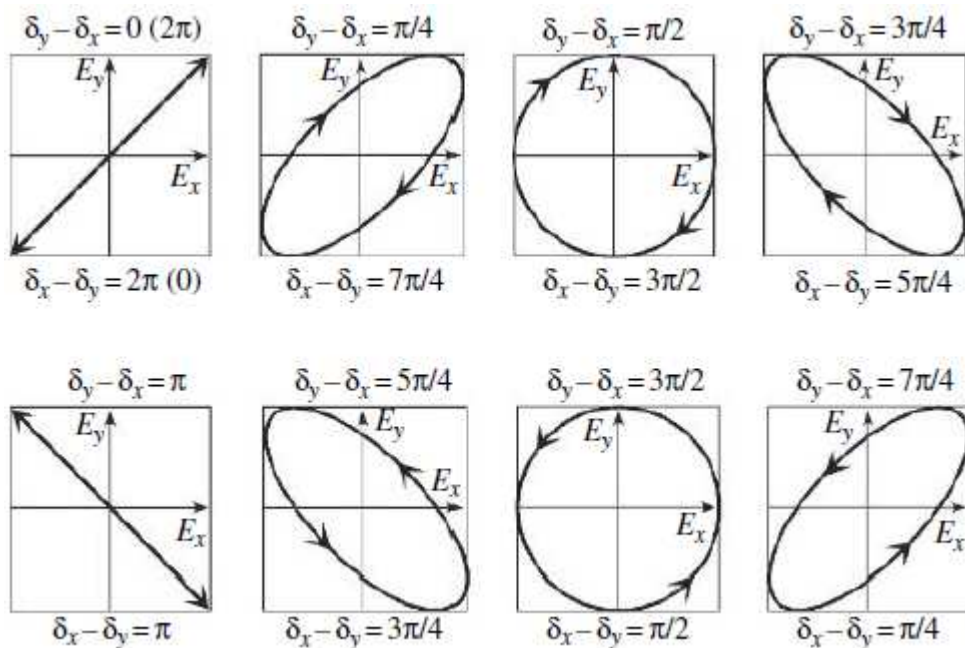
صورت انتشار نور با گذشت زمان به سمت راست (ساعتگرد) می چرخد (چرخش در جهت مثبت محور z پاد ساعتگرد است). این قطبش خاص، قطبش دایروی راستگرد نامیده می شود، و قطبش نشان داده شده در شکل ۱-۱-ج اشاره به قطبش بیضوی^۱ دارد. وقتی که $\delta_y - \delta_x = \frac{\pi}{4}$ باشد نور به سمت راست می چرخد.



شکل ۱-۱: نمایشی از الف) قطبش خطی، ب) قطبش دایروی راستگرد، ج) قطبش بیضوی.

^۱ Elliptical Polarization

شکل ۱-۲ تغییر حالت قطبش نور، هنگامی که $\delta_y - \delta_x$ و $\delta_x - \delta_y$ به ترتیب از ۰ تا 2π تغییر می کند را نشان می دهد. در این شکل دیده می شود که اختلاف فاز نسبی به طور قابل توجهی حالت قطبش نور را تغییر می دهد. هنگامی که اختلاف فاز ۰ یا π باشد موج نور قطبیده خطی است. اگر $E_{x0} \neq E_{y0}$ باشد حالت قطبش حتی در $\delta_y - \delta_x = \frac{\pi}{2}$ قطبش بیضوی می شود. لازم به ذکر است که اختلاف فاز در اندازه گیری بیضی سنجی طیف نگاری اساساً بر طبق اختلاف فاز $\delta_x - \delta_y$ تعیین می شود.



شکل ۱-۲: تغییر حالت قطبش با اختلاف فاز بین مؤلفه های میدان الکتریکی، در این شکل دامنه های امواج در راستای محور x و محور y یکسان است ($E_{x0} = E_{y0}$).

۳-۱) عناصر اپتیکی

برای تعیین حالت قطبش نور، به ابزار های اپتیکی تشکیل شده از عناصر اپتیکی مختلف نیاز است. عناصر اپتیکی که در اندازه گیری بیضی سنجی مورد استفاده قرار می گیرند، به قطبشگر ها، جبران کننده ها (تأخیر انداز ها)^۱، و واقطنده ها طبقه بندی می شوند. قطبشگر

^۱ Retarders