آزمایش (۳)

موضوع آزمایش: مطالعه تیغه‌های بازدارنده ربع موج، نیم موج، تمام موج و بررسی قانون مالوس

وسایل مورد نیاز:

ریل اپتیکی

لامپ سدیم و منبع تغذیه

دو تیغه ربع موج

چهار تیغه‌ی مجهول

پایه های مناسب

قطبشگر و تحلیلگر

فتوسل

ولت سنج و سیم‌های رابط

مبانی نظری آزمایش:

اگر یک موج تکفام قطبیده‌ی خطی بر روی یک بلور دو شکستی فرود آید، به دو باریکه‌ی خروجی عادی و غیر عادی تقسیم می‌شود. در موج عادی میدان الکتریکی بر امتداد محور نوری بلور عمود بوده و در موج غیرعادی میدان الکتریکی موازی با امتداد محور نوری بلور است.

فرض کنید که یک بلور دو شکستی را به گونه‌ای برش دهیم که یک تیغه‌ی متوازی الاسطوح به دست آید، بطوری که محور نوری آن موازی با دو سطح تیغه باشد. اگر میدان الکتریکی موج تکفام قطبیده‌ی تخت فرودی دارای مؤلفه‌های موازی و عمود بر محور نوری باشد، چون ضریب شکست بلور برای دو موج عادی و غیر عادی متفاوت است بنابراین دو موج تخت جدا از هم داخل بلور انتشار خواهند یافت. دو موج پس از پیمودن ضخامت تیغه با اختلاف فاز $\Delta\varphi$ با یکدیگر تداخل خواهند کرد. اندازه‌ی اختلاف فاز نسبی بین دو موج از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

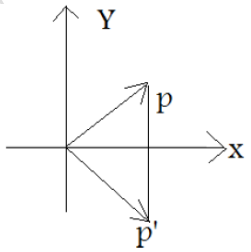
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} d(|n_o - n_e|) \qquad (۱-۳)$$

که در آن λ، طول موج نور در خلاء، n_o، ضریب شکست عادی، n_e، ضریب شکست غیر عادی و d، ضخامت تیغه می‌باشد.

اگر این اختلاف فاز برابر $\pi/2$ (معادل اختلاف راه نوری $\lambda/4$) باشد، تیغه را ربع موج و اگر اختلاف فاز برابر π (معادل اختلاف راه نوری $\lambda/2$) باشد، تیغه را نیم موج و در حالیکه اختلاف فاز برابر 2π (معادل راه نوری λ) باشد، تیغه را تمام موج می‌نامند.

در صورتیکه میدان الکتریکی نور قطبیده‌ی خطی، در امتداد محور نوری و یا عمود بر امتداد محور نوری باشد، دیگر میدان الکتریکی دارای دو مؤلفه نخواهد بود و نور فرودی بدون تغییر در قط بش از بلور خارج می‌شود. به همین دلیل این دو امتداد را راستاهای برگزیده نامیده و با x و y نشان می‌دهیم.

تیغه‌ی نیم موج- فرض کنید که موج قطبیده‌ی خطی $\vec{P} = \vec{P}_0 \cos\omega t$ از قطبشگر خارج شده و بر تیغه فرود آید، به گونه‌ای که مطابق شکل ۳-۱ با محود xها زاویه‌ی α بسازد. در این صورت دو مؤلفه‌ی موج هنگام ورود به تیغه به صورت زیر است:



شکل ۳-۱

$$x = P_0 \cos \omega t \cos \propto \quad (۲-۳)$$

$$y = P_0 \cos \omega t \sin \propto \quad (۳-۳)$$

مؤلفه‌های موج بعد از خروج از تیغه نیم موج برابر است با:

$$x' = P_0 \cos \omega t \cos \propto \quad (۴-۳)$$

$$y' = P_0 \cos(\omega t - \pi) \sin \propto = -P_0 \cos \omega t \sin \propto \quad (۵-۳)$$

و این بدان معنی است که موج هنگام خروج از تیغه دارای قطبش خطی بوده و امتداد قطبش آن به گونه‌ای است که با قطبش نور ورودی نسبت به محور X قرینه می‌باشد.

تیغه‌ی ربع موج- اگر مثل حالت قبل مؤلفه‌های موج ورودی را برابر

$$x = P_0 \cos \omega t \cos \propto \quad (۶-۳)$$

$$y = P_0 \cos \omega t \sin \propto \quad (۷-۳)$$

فرض کنیم، مؤلفه‌های موج خروجی از تیغه‌ی ربع موج به صورت زیر است:

$$x' = P_0 \cos \omega t \cos \propto \quad (۸-۳)$$

$$y' = P_0 \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \sin \propto = -P_0 \sin \omega t \sin \propto \quad (۹-۳)$$

و رابطه‌ی فوق معادلات پارامتری یک بیضی می‌باشند که محورهای آن منطبق بر راستاهای برگزیده بلور است و چنانچه α=۴۵ درجه باشد این موج دارای قطبش دایروی خواهد بود.

تیغه‌ی تمام موج- اگر موج ورودی به تیغه به صورت زیر باشد:

$$x = P_0 \cos \omega t \cos \propto \quad (۱۰-۳)$$

$$y = P_0 \cos \omega t \sin \propto \quad (۱۱-۳)$$

مؤلفه‌های موج خروجی از تیغه‌ی تمام موج به صورت زیر خواهد بود:

$$x' = P_0 \cos \omega t \cos \propto \qquad (۱۲-۳)$$

$$y' = P_0 \cos(\omega t - 2\pi) \sin \propto = P_0 \cos \omega t \sin \propto \qquad (۱۳-۳)$$

آزمایش اول: اثر تیغه ربع موج بر نور قطبیده‌ی خطی

روش آزمایش:

ابتدا لامپ سدیم را روی ریل اپتیکی قرار دهید. قطبشگر را مقابل لامپ سدیم قرار داده و بعد از آن تحلیلگر را بگذارید. سپس فتوسل را در حالیکه به ولتمتر متصل است، پشت تحلیلگر و نزدیک به آن قرار دهید. روی ۹۰ درجه تنظیم کرده و لامپ سدیم را روشن کنید. در این حالت باید ولتاژ خوانده شده مینیمم باشد. (در غیر این صورت با چرخاندن قطبشگر مینیمم ولتاژ را یافته و زاویه‌ی خوانده شده را به عنوان صفر قطبشگر در نظر بگیرید.) بدون آنکه در تنظیم تغییری ایجاد کنید تیغه ربع موج را بین قطبشگر و تحلیلگر قرار دهید (خواهید دید که عدد ولتمتر تغییر می‌کند.) تیغه‌ی ربع موج را بچرخانید تا ولتاژ خوانده شد. مجددا " مینیمم شود. برای هر تیغه‌ای تنظیم اولیه به همین صورت انجام می‌پذیرد.) حال بدون آنکه در تیغه تغییری ایجاد کنید، قطبشگر را روی زاویه 45° میزان کرده و با تغییر زاویه‌ی تحلیلگر از $+90^\circ$ تا -90° تغییرات ولتاژ را یادداشت کنید. نتایج خود را در جدول ۳-۱ بنویسید.

آزمایش دوم: تعیین نوع چهار تیغه مجهول

روش آزمایش:

چهار تیغه که مشخصات آنها را نمی‌دانید، در اختیار شما گذاشته شده است. برای هر تیغه پس از تنظیم اولیه، که در آزمایش قبلی بیان شده است، با توجه به تجربه‌ای که از آزمایش اول به دست آورده‌اید و همچنین با توجه به مطالب گفته شده در بخش مبانی نظری آزمایش نوع تیغه را تعیین کنید. نتایج خود را به ترتیب در جدولهای ۳-۲ تا ۳-۵ یادداشت کنید. در صورت لزوم محل دقیق ماکزیمم و مینیمم شدت نور خروجی از تحلیلگر را یادداشت کنید.

آزمایش سوم: ترکیب دو تیغه ربع موج

روش آزمایش:

مطابق آزمایش‌های گذشته قطبشگر و تحلیلگر را عمود بر هم قرار داده، یک تیغه ربع موج را بین قطبشگر و تحلیلگر قرار دهید و با چرخش آن مینیمم شدت لامپ را مشاهده کنید. تیغه ربع موج دیگر را نیز بین قطبشگر

و تحلیلگر گذاشته و با تنظیم زاویه‌ی آن مجدداً نور خروجی را مینیمم کنید. قطبشگر را روی زاویه‌ی ۴۵ درجه میزان کرده و از طریق آزمایش تعیین کنید که نور خروجی از دو تیغه اکنون دارای چه نوع قطبش است و دلیل فیزیک آن را نیز بنویسید. نتایج به دست آمده را در جدول ۳-۶ یادداشت کنید.

مجدداً قطبشگر و تحلیلگر را روی صفر و ۹۰ درجه قرار داده و یکی از تیغه‌های ربع موج را ۹۰ درجه بچرخانید تا نور خروجی از تحلیلگر به حداقل ممکن برسد. سپس قطبشگر را روی زاویه‌ی ۴۵ درجه تنظیم کرده و با چرخاندن تحلیلگر به ازای زوایای مختلف از ۹۰+ تا ۹۰- درجه، قطبش نور خروجی از دو تیغه را تعیین کنید. دلایل فیزیک مربوط به این پدیده را بنویسید. نتایج به دست آمده را در جدول ۳-۷ یادداشت کنید.

آزمایش چهارم: بررسی قانون مالوس

روش آزمایش:

قطبشگر و تحلیلگر را عمود بر هم (قطبشگر روی درجه‌ی صفر و تحلیلگر روی درجه‌ی ۹۰) مقابل لامپ سدیم قرار دهید، به گونه‌ای که نور خروجی از تحلیلگر به حداقل برسد. سپس تحلیلگر را ۵ درجه به سمت صفر تغییر داده و ولتاژ فتوسل را یادداشت کنید. این عمل را تکرار کرده تا به زاویه‌ی صفر برسید. نتایج را در جدول ۳-۸ یادداشت نمایید.

طبق قانون مالوس شدت نور خروجی از تحلیلگر از رابطه زیر پیروی می‌کند.

$$I = I_{\circ}\cos^2\theta \qquad (۱۴-۳)$$

که در آن θ زاویه بین قطبشگر و تحلیلگر می‌باشد. با فرض اینکه ولتاژ فتوسل و شدت نور رابطه خطی دارند و با استفاده از نتایج جدول ۳-۸ منحنی تغییرات $V(I)$ را بر حسب $\cos^2\theta$ رسم کنید.

محاسبه خطا:

عوامل ایجاد خطای سیستماتیک در این آزمایشها رابیان کرده و راههای کاهش آنها را بنویسید.

بسمه تعالی

آزمایشگاه اپتیک

جدولهای آزمایش ۳

جدول ۳-۱ اثر تیغه ربع موج بر نور قطبی شده

اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر

جدول ۳-۲ تیغه شماره A

اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر

جدول ۳-۴ تیغه شماره C

اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر

جدول ۳-۳ تیغه شماره B

اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر

جدول ۳-۵ تیغه شماره D

اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر

ترکیب دو تیغه ربع موج

وضعیت دو تیغه ربع موج نسبت بهم

جدول ۳-۶

اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر

جدول ۳-۷

اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر

جدول ۳-۸ بررسی قانون مالوس

θ(درجه)	V(mV)	$\cos\theta$	$\cos^2\theta$	$V/\cos^2\theta$