

بسم الله الرحمن الرحيم

گزارش کار آزمایشگاه اپتیک – دکتر مهدوی

گروه دوم – چهارشنبه از ساعت ۱۳:۳۰ الی ۱۷:۳۰

تاریخ انجام آزمایش : ۲۰ اسفند سال ۱۳۹۹

آزمایش سوم

مطالعه تیغه های بازدارنده ربع موج، نیم موج، تمام موج و بررسی قانون مالوس

حسین محمدی

۹۶۱۰۱۰۳۵

در این آزمایش به بررسی قطعات اپتیکی دیگری پرداختیم که در آزمایشگاه اپتیک کاربرد وسیعی برای تغییر دادن قطبش طول موج نور دارند.

تیغه های ربع موج^۱، نیم موج^۲، تمام موج^۳ را شناختیم و فهمیدیم که چگونه کار می کنند و راه تمیزشان چیست و ترکیب آن ها را بررسی کردیم و سپس قانون مالوس را تحقیق کردیم.

خب آزمایش به آزمایش جلو می رویم و به تحلیل داده و نتیجه گیری از جدول های داده می پردازیم:

آزمایش ۱: اثر تیغه ی ربع موج بر نور قطبیده ی خطی

در این آزمایش پس از تنظیم اولیه ی قطبشگر و تحلیلگر، یک تیغه ی ربع موج بین آن دو قرار دادیم و با تنظیم تیغه ی ربع موج و قطبشگر، مقدار ولتاژ خوانده شده از فوتوسل را برای زوایای مختلف از تحلیلگر خواندیم و نتایج را در جدول زیر ثبت می کنیم:

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

اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر
-۱۹.۲	+۹۰	+۴۵
-۲۰.۵	+۷۵	+۴۵
-۲۱.۹	+۶۰	+۴۵
-۲۲.۵	+۴۵	+۴۵
-۲۲.۴	+۳۰	+۴۵
-۲۱.۳	+۱۵	+۴۵
-۲۰.۰	۰	+۴۵
-۱۸.۳	-۱۵	+۴۵
-۱۷.۱	-۳۰	+۴۵
-۱۶.۶	-۴۵	+۴۵
-۱۶.۶	-۶۰	+۴۵
-۱۷.۵	-۷۵	+۴۵
-۱۹.۰	-۹۰	+۴۵

^۱ Quarter Wave Plate

^۲ Half Wave Plate

^۳ Full Wave Plate

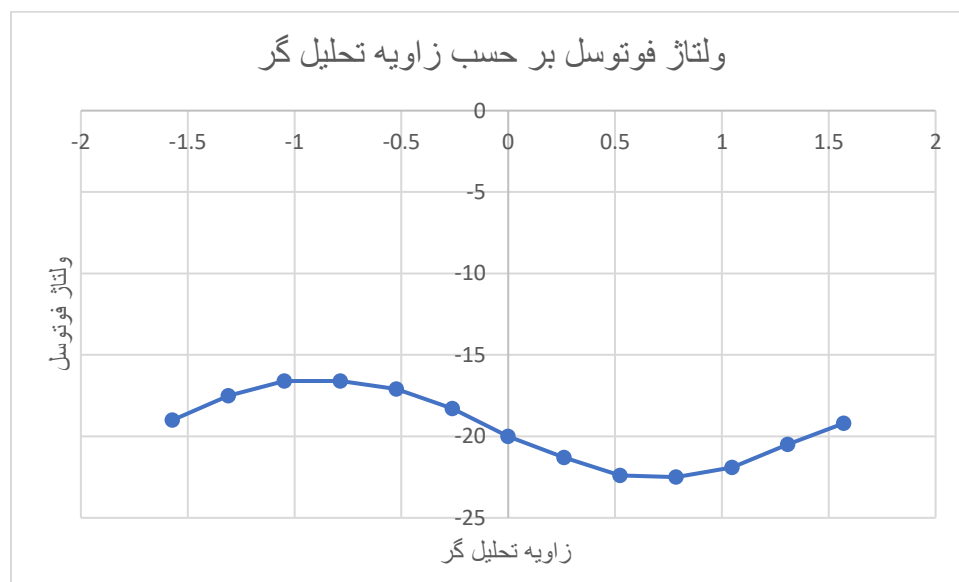
تحلیل من این است که:

چون پس از تنظیم تیغه ربع موج، قطبشگر را در زاویه ی ۴۵ درجه قرار دادیم، پس حتما قطبش نور فرودی روی محور های fast و slow تیغه ی ربع موج دارای تصویر است و این باعث می شود که نور خروجی دارای قطبش دایروی باشد.

می بینیم که اندازه ولتاژ دارای تغییرات کمی است و این دقیقا همان چیزی است که از قطبش دایروی انتظار داریم، زیرا که میدان های الکتریکی و مغناطیسی دائما در دایره ای در حال چرخش هستند پس میانگین انرژی ای که در هر زاویه دریافت می کنیم، اختلاف بسیار معنا داری نخواهد داشت (در مقایسه با سایر تیغه ها).

بنا به چینه ست آپ آزمایشی، مقدار ماکسیمم اندازه ولتاژ دقیقا در ۴۵ درجه رخ داده و مقدار مینیمم اندازه ولتاژ دقیقا در ۴۵- رخ داده است و این اختلاف بین این دو نشان از این دارد که قطبش موجی که به تحلیل گر می رسد همراستا با همان ۴۵ درجه است. (البته با حرکت دادن تیغه تحلیلگر این ماکسیمم و مینیمم ها تغییر خواهند کرد ولی در این آزمایش، تنظیم اولیه باعث این اتفاق شده است).

نمودار ولتاژ بر حسب زاویه تحلیل گر را هم ببینید:



نمودار ۱-۳: ولتاژ فوتوسل بر حسب زاویه تحلیل گر برای آزمایشی شماره ۱ که فقط تیغه ربع موج قرار دارد.

آزمایش ۲: تعیین نوع چهار تیغه مجهول

در این آزمایش پس از تنظیم اولیه ی قطبشگر و تحلیلگر، چهار تیغه مجهول را به نوبت در وسط این دو قرار می دهیم و با تنظیم کردن آن ها و خواندن داده از روی فوتوسل ها، نوع تیغه ها را شناسایی می کنیم.

جداول این آزمایش را ببینیم:

جدول ۲-۳: تیغه نوع A

اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر
-۱۵.۹	+۹۰	+۴۵
-۱۵.۰	+۷۵	+۴۵
-۱۳.۶	+۶۰	+۴۵
-۱۲.۲	+۴۵	+۴۵
-۱۱.۹	+۳۰	+۴۵
-۱۲.۴	+۱۵	+۴۵
-۱۳.۴	۰	+۴۵
-۱۴.۷	-۱۵	+۴۵
-۱۶.۳	-۳۰	+۴۵
-۱۷.۳	-۴۵	+۴۵
-۱۷.۷	-۶۰	+۴۵
-۱۷.۳	-۷۵	+۴۵
-۱۶.۲	-۹۰	+۴۵

جدول ۳-۳: تیغه نوع B

اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر
-۱۷.۲	+۹۰	+۴۵
-۱۰.۳	+۷۵	+۴۵
-۴.۹	+۶۰	+۴۵
-۱.۹	+۴۵	+۴۵
-۲.۲	+۳۰	+۴۵
-۶.۲	+۱۵	+۴۵
-۱۲.۵	۰	+۴۵
-۱۸.۹	-۱۵	+۴۵
-۲۳.۵	-۳۰	+۴۵
-۲۶.۰	-۴۵	+۴۵
-۲۵.۴	-۶۰	+۴۵
-۲۲.۵	-۷۵	+۴۵
-۱۷.۰	-۹۰	+۴۵

جدول ۳-۴: تیغه نوع C

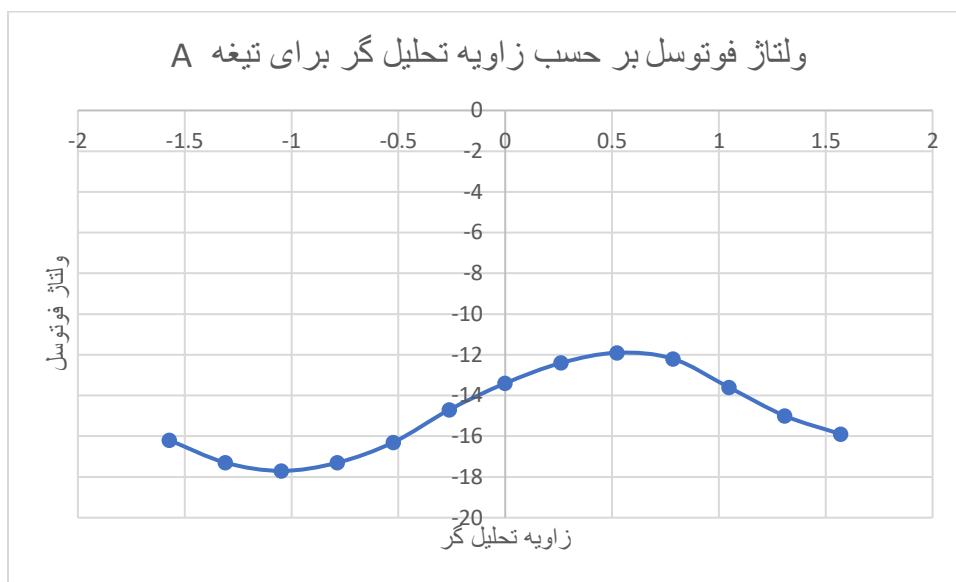
اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر
-۴.۴	+۹۰	+۴۵
-۴.۰	+۷۵	+۴۵
-۳.۷	+۶۰	+۴۵
-۳.۸	+۴۵	+۴۵
-۴.۰	+۳۰	+۴۵
-۴.۴	+۱۵	+۴۵
-۴.۸	۰	+۴۵
-۵.۱	-۱۵	+۴۵
-۵.۳	-۳۰	+۴۵
-۵.۳	-۴۵	+۴۵
-۵.۱	-۶۰	+۴۵
-۴.۸	-۷۵	+۴۵
-۴.۳	-۹۰	+۴۵

جدول ۵-۳: تیغه نوع D

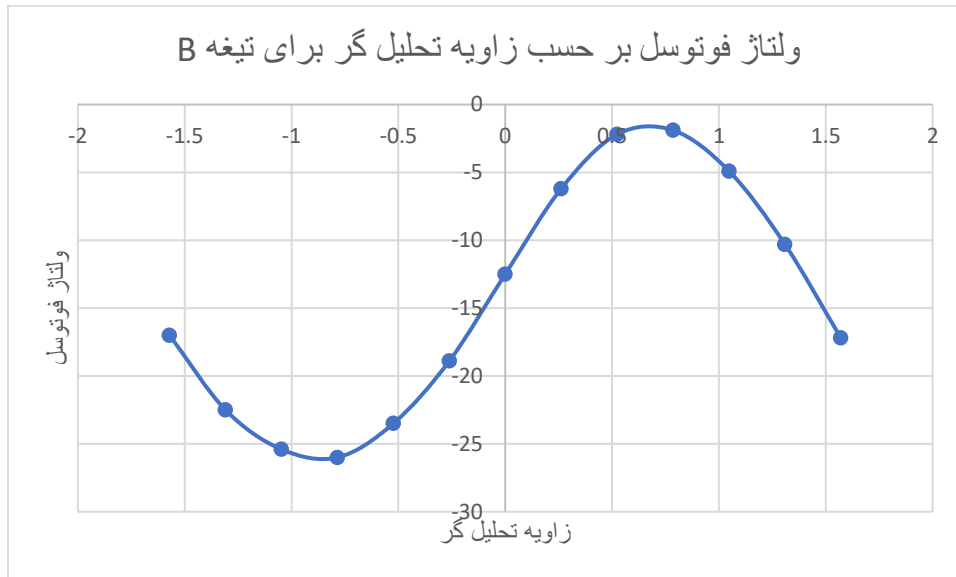
اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر
-۱۳.۶	+۹۰	+۴۵
-۱۹.۰	+۷۵	+۴۵
-۲۲.۳	+۶۰	+۴۵
-۲۳.۶	+۴۵	+۴۵
-۲۱.۹	+۳۰	+۴۵
-۱۸.۴	+۱۵	+۴۵
-۱۲.۵	۰	+۴۵
-۶.۴	-۱۵	+۴۵
-۱.۵	-۳۰	+۴۵
-۰.۲	-۴۵	+۴۵
-۲.۷	-۶۰	+۴۵
-۸.۰	-۷۵	+۴۵
-۱۳.۷	-۹۰	+۴۵

با خواندن این اطلاعات و رسم کردن آن ها و با یافتن ماکسیمم و مینیمم ها می توانیم نوع تیغه را تعیین کنیم.

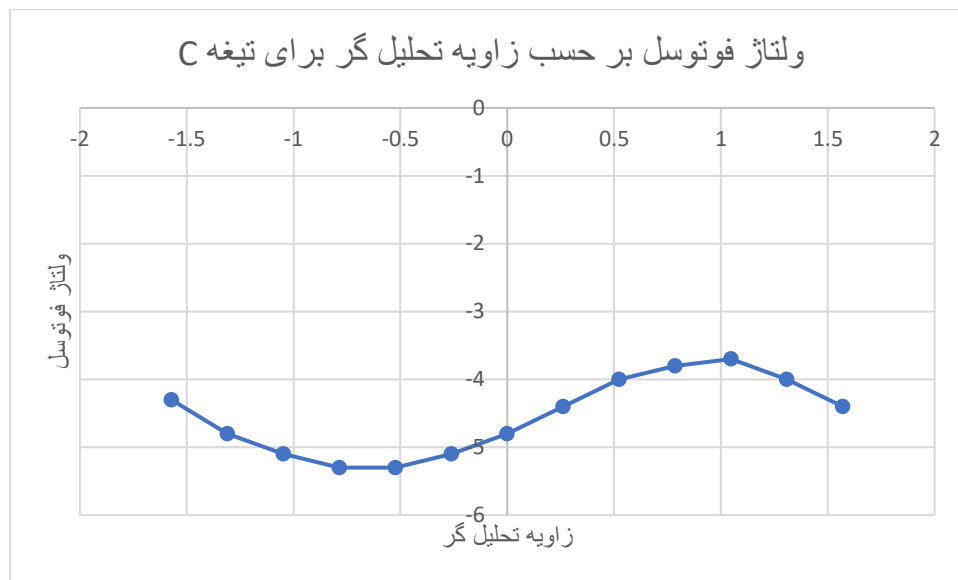
ابتدا نمودار های ولتاژ بر حسب زاویه تحلیل گر را برای هر تیغه ببینید:



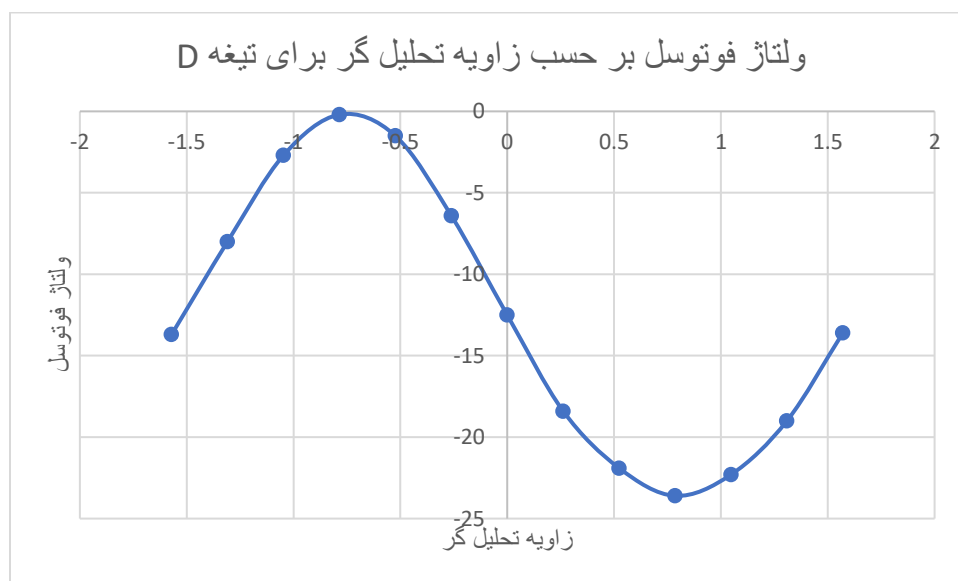
نمودار ۲-۳: ولتاژ فوتوسل بر حسب زاویه تحلیل گر برای تیغه A



نمودار ۳-۳: ولتاژ فوتوسل بر حسب زاویه تحلیل گر برای تیغه B



نمودار ۳-۴: ولتاژ فوتوسل بر حسب زاویه تحلیل گر برای تیغه C



نمودار ۳-۶: ولتاژ فوتوسل بر حسب زاویه تحلیل گر برای تیغه D

و مقدار زاویه ای که در آن ماکسیمم و مینیمم رخ می دهد را در جدول زیر مرتب می کنیم

نوع تیغه	کمینه اندازه ولتاژ	بیشینه اندازه ولتاژ
A	-۶۰	۳۰
B	-۴۵	۴۵
C	-۴۵	۶۰
D	۴۵	-۴۵

جدول ۳-۶: زوایای داری کمینه و بیشینه ولتاژ فوتوسل

حال با کمک ویژگی هایی که از تیغه ها در دستور کار خواندیم می توانیم حکم کنیم که هر کدام از این تیغه های مجهول از کدام نوع هستند:

تیغه ی D نیم موج است چرا که در زاویه ی ۴۵- درجه، شدت نور عبوری از تحلیل گر بیشینه است؛ پس پس بایستی تیغه ی D نیم موج باشد تا مولفه ی X قطبش را قرینه کند. همچنین در زاویه ۴۵ درجه هم کمینه دارد که این ویژگی تیغه ی نیم موج است.

تیغه ی B تمام موج است چرا که در ۴۵ درجه ماکسیمم شدت عبوری از تحلیل گر را داریم و در ۴۵- مینیمم شدت عبور نور، انگار که نور ورودی اصلا دست نخورده است و این ویژگی تیغه تمام موج است. تیغه های A , C شدت بیشینه و کمینه شان در زوایای متفاوتی نسبت به ۴۵ درجه یا ۴۵- درجه است و ضمن این که اندازه شدت نور در زوایای مختلف تقریباً یکسان است. این ویژگی نور قطبیده شده به صورت دایروی است و نتیجه این که A , C احتمال تیغه های ربع موج هستند.

آزمایش ۳: ترکیب دو تیغه ربع موج

در اولین آزمایش؛ دو تیغه ربع موج را یکی یکی در بین قطبشگر و تحلیل گر قرار می دهیم و به تنظیم سیستم می پردازیم و باز هم با چرخش تحلیل گر، به خواندن مقادیر و داده ها می پردازیم و سعی می کنیم بفهمیم که ترکیب این دو تیغه ربع موج به چه صورتی عمل می کند.

در آزمایش دوم هم همان تنظیمات بالا را انجام می دهیم و فقط یکی از تیغه های ربع موج را به اندازه ۹۰ درجه می چرخانیم و با چرخاندن تحلیل گر داده ها را از فوتوسل می گیریم و به بررسی فیزیک این پدیده می پردازیم.

جدول داده های این آزمایش را ببینیم:

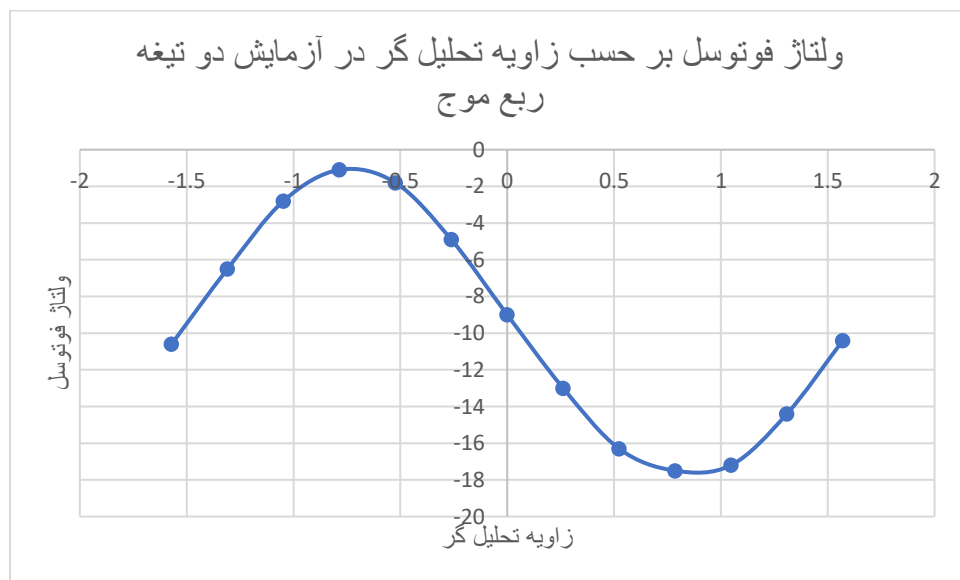
جدول ۸-۳ وضعیت دو تیغه ربع موج نسبت به هم

اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر
-۸.۹	+۹۰	+۴۵
-۴.۷	+۷۵	+۴۵
-۲.۱	+۶۰	+۴۵
-۱.۴	+۴۵	+۴۵
-۳.۲	+۳۰	+۴۵
-۶.۶	+۱۵	+۴۵
-۱۰.۹	۰	+۴۵
-۱۴.۶	-۱۵	+۴۵
-۱۷.۱	-۳۰	+۴۵
-۱۷.۷	-۴۵	+۴۵
-۱۶.۴	-۶۰	+۴۵
-۱۳.۰	-۷۵	+۴۵
-۹.۰	-۹۰	+۴۵

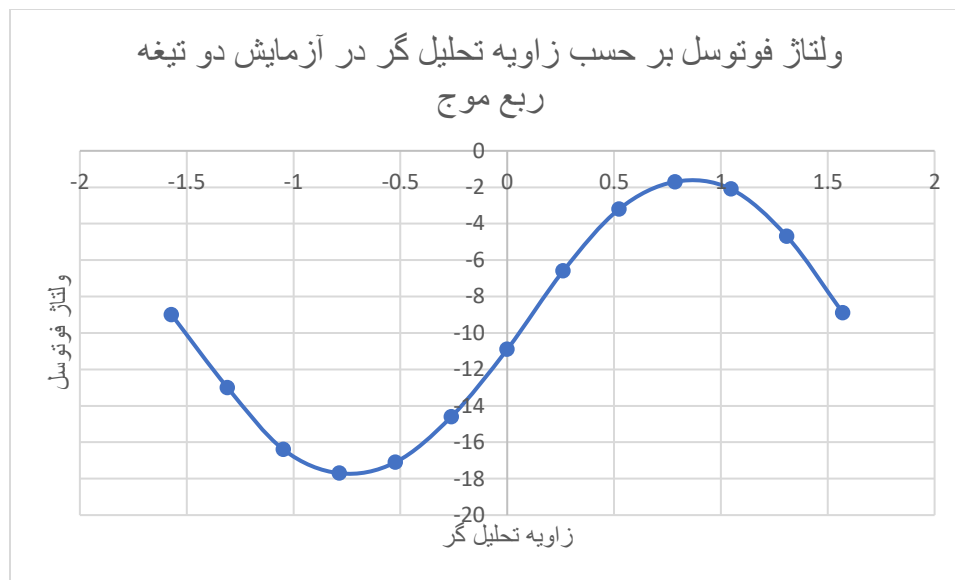
جدول ۷-۳ ترکیب دو تیغه ربع موج

اندازه ولتاژ	زاویه تحلیلگر	زاویه قطبشگر
-۱۰.۴	+۹۰	+۴۵
-۱۴.۴	+۷۵	+۴۵
-۱۷.۲	+۶۰	+۴۵
-۱۷.۵	+۴۵	+۴۵
-۱۶.۳	+۳۰	+۴۵
-۱۳.۰	+۱۵	+۴۵
-۹.۰	۰	+۴۵
-۴.۹	-۱۵	+۴۵
-۱.۸	-۳۰	+۴۵
-۱.۱	-۴۵	+۴۵
-۲.۸	-۶۰	+۴۵
-۶.۵	-۷۵	+۴۵
-۱۰.۶	-۹۰	+۴۵

خب حالا با دیدن نمودارها بهتر می توانیم در مورد نوع تیغه قضاوت کنیم:



نمودار ۶-۳: ولتاژ فوتوسل بر حسب زاویه تحلیل گر برای آزمایش با دو تیغه ربع موج



نمودار ۳-۷: ولتاژ فوتوسل بر حسب زاویه تحلیل گر برای آزمایش با دو تیغه ربع موج

حال می توان نتیجه گیری های زیر را داشت:

چون بیشینه و کمینه های نمودار ۳-۶ در زوایای ۴۵- درجه و ۴۵ درجه هستند، پس نتیجه ای که می شود گرفت این است که جهت قطبش قرینه شده است (مولفه های قطبش روی محور Fast) و این دو تیغه در مجموع بایستی به شکل یک تیغه نیم موج عمل کنند. (دلیل آن هم این است که وقتی محور های Fast یا Slow این نمودارها بر هم منطبق شود، هر دو فاز را به اندازه $\frac{\pi}{4}$ تغییر می دهند که در مجموعه به اندازه $\frac{\pi}{2}$ اختلاف فاز داریم).

چون بیشینه و کمینه های نمودار ۳-۷ در زوایای ۴۵ درجه و ۴۵- درجه هستند، پس نتیجه ای که می شود گرفت این است که جهت قطبش ثابت مانده و این دو تیغه بایستی مثل یک تیغه تمام موج یا تیغه خنثی عمل کنند. (دلیل آن هم این است که وقتی محور های Fast یکی از تیغه ها بر محور Slow دیگری منطبق شود، فاز را به اندازه $\pm \frac{\pi}{4}$ تغییر می دهند که در مجموعه به اندازه صفر اختلاف فاز داریم و این یعنی تیغه خنثی است).

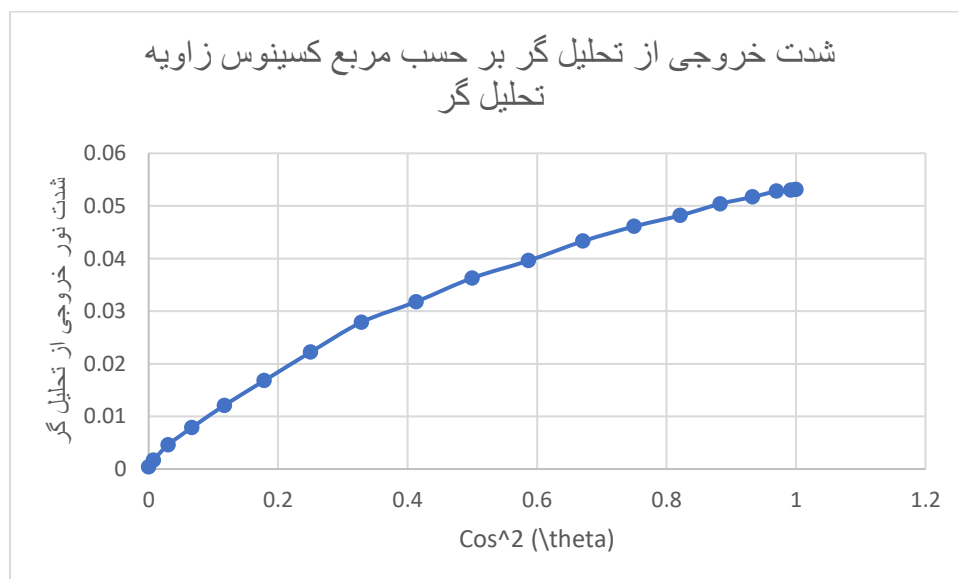
آزمایش ۴: بررسی قانون مالوس

این قانون، رابطه ی بین شدت نور خروجی از تحلیل گر و زاویه ی تحلیل گر می باشد که برای این آزمایش بایستی بین تنظیم اولیه را انجام دهیم و داده ها را بگیریم:

θ (درجه)	$V(mV)$	$Cos(\theta)$	$Cos^2(\theta)$	$\frac{V}{Cos^2(\theta)}$
۹۰	۰.۴	$6.12574E-17$	تقریباً صفر	بی معنی است
۸۵	۱.۷	۰.۰۸۷۱۵۵۷۴۳	۰.۰۰۷۵۹۶۱۲۳	۲۲۳.۷۹۸۳۶۲۶
۸۰	۴.۶	۰.۱۷۳۶۴۸۱۷۸	۰.۰۳۰۱۵۳۶۹	۱۵۲.۵۵۱۸۱۲۴
۷۵	۷.۹	۰.۲۵۸۸۱۹۰۴۵	۰.۰۶۶۹۸۷۲۹۸	۱۱۷.۹۳۲۸۰۵۵
۷۰	۱۲.۱	۰.۳۴۲۰۲۰۱۴۳	۰.۱۱۶۹۷۷۷۷۸	۱۰۳.۴۳۸۴۴۹۳
۶۵	۱۶.۸	۰.۴۲۲۶۱۸۲۶۲	۰.۱۷۸۶۰۶۱۹۵	۹۴.۰۶۱۶۸۶۸۶
۶۰	۲۲.۲	۰.۵	۰.۲۵	۸۸.۸
۵۵	۲۷.۹	۰.۵۷۳۵۷۶۴۳۶	۰.۳۲۸۹۸۹۹۲۸	۸۴.۸۰۵۰۲۷۷۴
۵۰	۳۱.۸	۰.۶۴۲۷۸۷۶۱	۰.۴۱۳۱۷۵۹۱۱	۷۶.۹۶۴۷۹۶۶۹
۴۵	۳۶.۳	۰.۷۰۷۱۰۶۷۸۱	۰.۵	۷۲.۶
۴۰	۳۹.۶	۰.۷۶۶۰۴۴۴۴۳	۰.۵۸۶۸۲۴۰۸۹	۶۷.۴۸۱۸۹۲۳۷
۳۵	۴۳.۳	۰.۸۱۹۱۵۲۰۴۴	۰.۶۷۱۰۱۰۰۷۲	۶۴.۵۲۹۵۸۲۸۳
۳۰	۴۶.۱	۰.۸۶۶۰۲۵۴۰۴	۰.۷۵	۶۱.۴۶۶۶۶۶۶۷
۲۵	۴۸.۲	۰.۹۰۶۳۰۷۷۸۷	۰.۸۲۱۳۹۳۸۰۵	۵۸.۶۸۰۷۴۴۵۱
۲۰	۵۰.۴	۰.۹۳۹۶۹۲۶۲۱	۰.۸۸۳۰۲۲۲۲۲	۵۷.۰۷۶۷۰۶۳
۱۵	۵۱.۷	۰.۹۶۵۹۲۵۸۲۶	۰.۹۳۳۰۱۲۷۰۲	۵۵.۴۱۱۸۹۲۹۹
۱۰	۵۲.۸	۰.۹۸۴۸۰۷۷۵۳	۰.۹۶۹۸۴۶۳۱	۵۴.۴۴۱۶۱۵۵۸
۵	۵۳	۰.۹۹۶۱۹۴۶۹۸	۰.۹۹۲۴۰۳۸۷۷	۵۳.۴۰۵۶۷۶۱۱
۰	۵۳,۱	۱	۱	۵۳,۱

جدول ۳-۹: داده های آزمایش بررسی قانون مالوس

و حالا وقت رسم نمودار است (با این فرض که شدت نور و ولتاژ فوتوسل رابطه خطی دارند):



نمودار ۳-۸: شدت نور بر حسب مربع کسینوس زاویه تحلیل گر برای آزمایش شماره ۴

می بینیم که در زوایای نزدیک به نود درجه که نور خروجی از تحلیل گر کمینه است، این رابطه به شکل تقریباً خطی است و برای زوایای بالاتر، کمی از خط انحراف دارد و خواسته ی ما برای این آزمایش برآورده است.

محاسبه خطا:

از عوامل ایجاد خطا در این آزمایش این ها هستند:

- دقت در تنظیم کردن تحلیل گر و قطبش گر و هر کدام از تیغه ها باعث ایجاد خطا می شود.
- اگر دریچه ورود نور فوتوسل محدود نشده باشد، در این صورت فوتون های اضافی از محیط دریافت می شود که باعث ایجاد خطا در ولتاژ و در کل آزمایش می شوند.
- همانطور که دیدیم این قطبشگر ها ایده آل نیستند و وقتی محور آن ها عمود بر هم باشد، باز هم شدت کمینه نوری از دومی عبور می کند.
- در برخی جاها شدت ولتاژ فوتوسل در دو نقطه متوالی برابر بود که این ناشی از این است که ما بایستی دقت بازه های خود را کمتر کنیم تا بتوانیم نقطه ماکسیمم و مینیمم را بهتر و دقیقتری پیدا کنیم تا در تفسیر نتایج دچار اشتباه نشویم.