



دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده مهندسی برق

آزمایشگاه اپتیک

(دانشکده فیزیک، طبقه 1، آزمایشگاه اپتیک و لیزر)

آزمایش 3: مطالعه تیغه‌های بازدارنده ربع
موج، نیم موج، تمام موج و بررسی قانون
مالوس

نویسنده: ملیکا رجبی - 99101608

تاریخ انجام آزمایش: 1402.12.16

در این آزمایش قصد داریم با تیغه‌های بازدارنده آشنا شویم. یک لامپ سدیم را در پشت یک قطبش‌گر قرار می‌دهیم. مقابل قطبش‌گر، یک تحلیل‌گر و سپس یک فتوسل قرار می‌دهیم که به یک ولت‌سنج متصل است. تیغه‌ها در بین قطبش‌گر و تحلیل‌گر قرار می‌گیرند. قبل از انجام هر آزمایش، زاویه‌ی تیغه‌ها را به روش مناسب تنظیم می‌کنیم. سپس با تغییر متناوب زاویه‌ی تحلیل‌گر، اعداد نشان داده شده توسط ولت‌سنج را یادداشت می‌کنیم تا در ادامه به بررسی آن‌ها بپردازیم. در بخش اول تیغه‌ی قرار داده شده در بین تحلیل‌گر و قطبش‌گر از نوع ربع طول موج است. در بخش بعدی تیغه‌ها مجهول هستند و باید از روی ولتاژهای اندازه‌گیری شده نوع آن‌ها را تشخیص دهیم. در بخش سوم، به بررسی اثر ترکیب دو تیغه‌ی ربع طول موج می‌پردازیم.

در بخش آخر تیغه‌ها را برداشته و به بررسی قانون مالوس می‌پردازیم.

وسایل مورد نیاز برای آزمایش: ریل اپتیکی، لامپ سدیم و منبع تغذیه، پایه‌های مناسب قطبش‌گر و تحلیل‌گر، فتوسل، ولت‌سنج و سیم‌های رابط، دو تیغه‌ی ربع موج، چهار تیغه‌ی مجهول

۱ اثر تیغه‌ی ربع موج بر نور قطبیده‌ی خطی

در ابتدا باید وسایل آزمایش را تنظیم کنیم. برای این کار قطبش‌گر را روی عدد 0 درجه و تحلیل‌گر را روی عدد 90 درجه قرار می‌دهیم. در این حالت دو صفحه بر هم عمود بوده و در حالت ایده‌آل ولت‌سنج باید عدد 0 را نشان می‌داد. اما در محیط آزمایش سعی می‌کنیم این عدد مینیمم باشد. اگر با قرار دادن تحلیل‌گر روی زاویه‌ی 90 درجه، مینیمم ولتاژ حاصل نشد، می‌توان با تغییرات جزئی زاویه این کار

را انجام داد و از این پس عدد به دست آمده را به عنوان 90 تحلیل گر در نظر گرفت. وقتی قطبش گر و تحلیل گر تنظیم شدند، تیغه ی ربع طول موج را بین آنها قرار می دهیم. با قرار دادن این تیغه ولتاژ نشان داده شده توسط ولت سنج از حالت مینیمم خارج می شود. با تغییر زاویه ی تیغه دوباره ولتاژ را مینیمم می کنیم. در این حالت زاویه ی تیغه و قطبش گر موازی خواهد بود.

حالا زاویه ی قطبش گر را روی 45 درجه قرار می دهیم و زاویه ی تحلیل گر را از 90 درجه تا -90 درجه تغییر می دهیم و اعداد ولت سنج را یادداشت می کنیم. نتایج به صورت زیر شد:

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

ولتاژ (mV)	زاویه ی تحلیل گر (°)	زاویه ی قطبش گر (°)
26.8	90	45
26.8	75	45
28.5	60	45
28.5	45	45
28.9	30	45
28.7	15	45
27.8	0	45
26.1	-15	45
25.6	-30	45
24.6	-45	45
25.2	-60	45
25.2	-75	45
26.4	-90	45

همانطور که انتظار داشتیم به دلیل اینکه $\alpha = 45^\circ$ بود قطبش دایروی بوده و اعداد ولتاژ تقریباً ثابت ماندند.

۲ تعیین نوع چهار تیغه‌ی مجهول

در این قسمت، همانند قسمت قبل قطبش‌گر و تحلیل‌گر را نسبت به هم تنظیم می‌کنیم. در ادامه یکی از تیغه‌های مجهول را بین آن‌ها قرار داده و مشابه قسمت قبل آن را تنظیم می‌کنیم. حالا زاویه‌ی قطبش‌گر را روی 45 درجه قرار می‌دهیم و زاویه‌ی تحلیل‌گر را از 90 تا -90 درجه تغییر می‌دهیم و ولتاژ نشان داده شده را یادداشت می‌کنیم. این کار را برای هر چهار تیغه تکرار می‌کنیم.

نتایج به صورت زیر شد:

جدول ۳-۲: تیغه‌ی A

ولتاژ (mV)	زاویه‌ی تحلیل‌گر (°)	زاویه‌ی قطبش‌گر (°)
30.7	90	45
18.6	75	45
8	60	45
4.8	45	45
10.9	30	45
22.3	15	45
34.2	0	45
43.2	-15	45
49	-30	45
50.2	-45	45
47.3	-60	45
40.6	-75	45
30.2	-90	45

ماکسیمم ولتاژ در زاویه‌ی 45- درجه و مینیمم آن در زاویه‌ی 45 درجه رخ داده است. بنابراین این تیغه از نوع نیم موج است.

جدول ۳-۳: تیغه ی B

ولتاژ (mV)	زاویه ی تحلیل گر (°)	زاویه ی قطبش گر (°)
30.8	90	45
29.1	75	45
27.6	60	45
26.7	45	45
28	30	45
30	15	45
32.9	0	45
34.5	-15	45
36	-30	45
36.1	-45	45
35.3	-60	45
33.4	-75	45
31.2	-90	45

ماکسیموم ولتاژ در زاویه ی 45- درجه و مینیم آن در زاویه ی 45 درجه رخ داده است. همچنین اعداد ولتاژ تغییر چندانی نکردند. بنابراین این تیغه از نوع ربع موج است.

جدول ۳-۴: تیغه ی C

ولتاژ (mV)	زاویه ی تحلیل گر (°)	زاویه ی قطبش گر (°)
30	90	45
42	75	45
49.1	60	45
51.9	45	45
49.9	30	45
44.1	15	45
34	0	45
19.4	-15	45
7.3	-30	45
1	-45	45
5	-60	45
16.6	-75	45
30.5	-90	45

ماکسیموم ولتاژ در زاویه ی 45 درجه و مینیم آن در زاویه ی 45- درجه رخ داده است. بنابراین این تیغه از نوع تمام موج است.

جدول ۳-۵: تیغه‌ی D

ولتاژ (mV)	(°) زاویه‌ی تحلیل‌گر	(°) زاویه‌ی قطبش‌گر
32.4	90	45
30.7	75	45
28.8	60	45
27.4	45	45
28.1	30	45
29.4	15	45
32.1	0	45
34.3	-15	45
35.1	-30	45
36.3	-45	45
36	-60	45
34.8	-75	45
32.3	-90	45

ماکسیموم ولتاژ در زاویه‌ی 45- درجه و مینیمم آن در زاویه‌ی 45 درجه رخ داده است. همچنین اعداد ولتاژ تغییر چندانی نکردند. بنابراین این تیغه از نوع ربع موج است.

۳ ترکیب دو تیغه‌ی ربع موج

در این قسمت بعد از تنظیم قطبش‌گر و تحلیل‌گر، یک تیغه‌ی ربع طول موج را بین آن‌ها قرار می‌دهیم. دوباره تنظیمات لازم را انجام می‌دهیم و سپس تیغه‌ی ربع موج دیگری را روبروی این تیغه قرار می‌دهیم. زاویه‌ی تیغه‌ی دوم را هم مثل دفعات قبل آنقدر تغییر می‌دهیم تا ولتاژ مینیمم شود. حالا زاویه‌ی قطبش‌گر را روی 45 درجه قرار داده و تحلیل‌گر را از 90 درجه تا 90- درجه تغییر می‌دهیم و ولتاژها را یادداشت می‌کنیم.

نتایج به صورت زیر شد:

جدول ۳-۶: ترکیب دو تیغه‌ی ربع موج

ولتاژ (mV)	زاویه‌ی تحلیل‌گر (°)	زاویه‌ی قطبش‌گر (°)
19.2	90	45
10.3	75	45
4.7	60	45
3.7	45	45
7.7	30	45
15.2	15	45
24.3	0	45
31	-15	45
34.6	-30	45
35.4	-45	45
32.1	-60	45
27	-75	45
19.1	-90	45

همانطور که مشاهده می‌شود ما کسیموم ولتاژ در زاویه‌ی 45- درجه و مینیمم ولتاژ در زاویه‌ی 45 درجه رخ داده است. بنابراین می‌توان گفت ترکیب این دو تیغه در این حالت همانند یک صفحه‌ی نیم موج عمل کرده است.

حالا قطبش‌گر را روی 0 درجه و تحلیل‌گر را روی 90 درجه قرار می‌دهیم و یکی از تیغه‌ها را 90 درجه می‌چرخانیم تا مجدداً ولتاژ مینیمم شود. سپس قطبش‌گر را روی 45 درجه قرار می‌دهیم. در این حالت دوباره آزمایش را تکرار می‌کنیم.

نتایج به صورت زیر شد:

جدول ۳-۷: ترکیب دو تیغه‌ی ربع موج

ولتاژ (mV)	(°) زاویه‌ی تحلیل‌گر	(°) زاویه‌ی قطبش‌گر
21.1	90	45
28.9	75	45
34.5	60	45
37.1	45	45
35.7	30	45
30.6	15	45
22.9	0	45
13.6	-15	45
5.8	-30	45
2.5	-45	45
4.9	-60	45
12.3	-75	45
21.2	-90	45

در این حالت مشاهده می‌کنیم که ماکسیموم ولتاژ در زاویه‌ی 45 درجه و مینیمم ولتاژ در زاویه‌ی 45- درجه رخ داده است. بنابراین ترکیب این دو صفحه در این حالت تشکیل یک صفحه‌ی تمام موج را داده اند.

۴ بررسی قانون مالوس

در این قسمت، قطبش‌گر را روی 0 درجه و تحلیل‌گر را روی 90 درجه قرار داده و تنظیمات لازم را انجام می‌دهیم. سپس تحلیل‌گر را از 90 درجه تا 0 درجه به آرامی تغییر داده و ولتاژهای خوانده شده را یادداشت می‌کنیم. نتایج به صورت زیر شد:

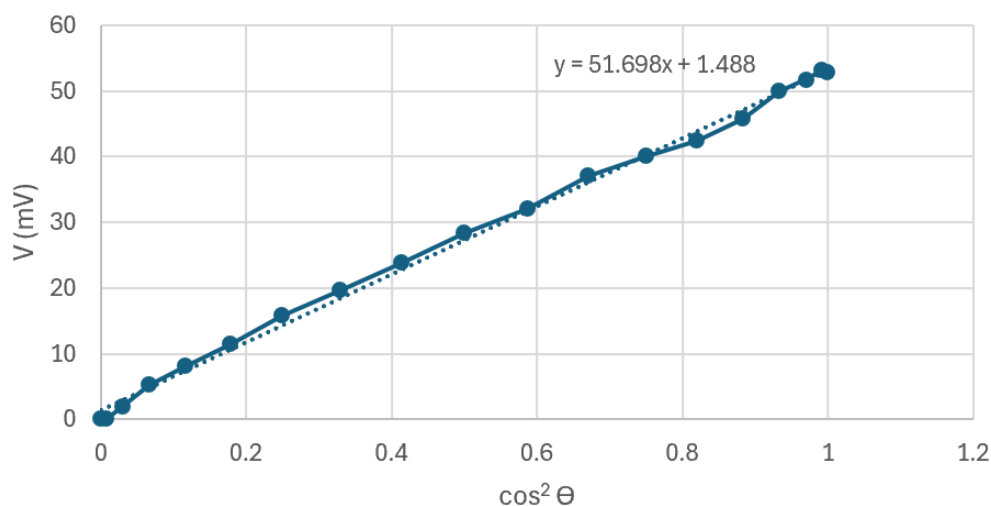
جدول ۳-۸: بررسی قانون مالوس

$\theta (^{\circ})$	V (mV)	$\cos \theta$	$\cos^2 \theta$	$V/\cos^2 \theta$
90	0.06	0	0.000000	∞
85	0.06	0.087	0.007569	7.93
80	2	0.174	0.030276	66.06
75	5.3	0.259	0.067081	79.01
70	8.1	0.342	0.116964	69.25
65	11.5	0.423	0.178929	64.27
60	15.8	0.500	0.250000	63.2
55	19.7	0.574	0.329476	59.79
50	23.8	0.643	0.413449	57.56
45	28.4	0.707	0.499849	56.82
40	32	0.766	0.586756	54.54
35	37.1	0.819	0.670761	55.31
30	40	0.866	0.749956	53.34
25	42.4	0.906	0.820336	51.65
20	45.7	0.940	0.883600	51.72
15	49.9	0.966	0.933156	53.47
10	51.7	0.985	0.970225	53.29
5	53.1	0.996	0.992016	53.53
0	52.8	1.000	1.000000	52.80

واحد مربوط به ستون آخر: mV

منحنی تغییرات ولتاژ فتوسل بر حسب $\cos^2 \theta$ به صورت زیر شد:

بررسی قانون مالوس



شکل ۳-۱: منحنی تغییرات ولتاژ فتوسل بر حسب توان دوی کسینوس زاویه‌ی تحلیل‌گر

همانطور که مشاهده می‌شود ولتاژ فتوسل با توان دوی کسینوس زاویه‌ی تحلیل‌گر رابطه‌ی تقریباً خطی دارد. شیب این خط هم تقریباً برابر با چیزی است که در جدول از طریق آزمایش یادداشت کردیم. خطی بودن این منحنی تاییدی بر قانون مالوس است. طبق قانون مالوس شدت نور خروجی از تحلیل‌گر از رابطه‌ی زیر پیروی می‌کند:

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (۱-۳)$$

که θ زاویه‌ی بین قطبش‌گر و تحلیل‌گر است. (زاویه‌ی قطبش‌گر روی 0 تنظیم شده بود بنابراین این زاویه برابر با همان زاویه‌ی تحلیل‌گر خواهد بود.) اگر فرض کنیم ولتاژ فتوسل با شدت نور خروجی از تحلیل‌گر رابطه‌ی خطی دارد، قانون مالوس می‌گوید ولتاژ فتوسل باید با توان دوی کسینوس زاویه‌ی تحلیل‌گر رابطه‌ی خطی داشته باشد، چیزی که از طریق آزمایش هم تایید شد.

۵ محاسبه‌ی خطا

عواملی که در این آزمایش احتمالاً منجر به خطا شدند عبارتند از:

- خطا در خواندن زاویه‌ها
- خطا در تنظیم زاویه‌ی تیغه‌ها به دلیل عدم توانایی تشخیص مینیمم‌ترین نقطه و زاویه‌ی مربوط به آن
- آلودگی نوری موجود در آزمایشگاه و تاثیر بسیار زیاد آن در ولتاژ نمایش داده شده توسط ولت‌سنج

- فرض خطی بودن رابطه‌ی بین ولتاژ فتوسل و شدت نور که ممکن است همواره صحیح نباشد

برای کاهش این خطاها می‌توان محیط آزمایش را بسیار ایده‌آل طراحی کرد و اثرات مضر را به حداقل رساند (مثلاً آزمایش را در فضای بسیار تاریک انجام داد). همچنین روابط را با پیچیدگی بیشتر در نظر گرفت و از ساده‌سازی‌ها خودداری کرد.

۶ نتیجه‌گیری

در این آزمایش آموختیم که صفحات ربع موج، نیم موج و تمام موج و همچنین ترکیب آن‌ها چه تاثیری روی نور قطبیده شده می‌گذارند. از این شناخت استفاده کردیم تا صفحات مجهول را شناسایی کنیم. همچنین قانون مالوس را تصدیق کردیم. در نهایت با عوامل خطا و راه‌های کاهش آن در این آزمایش آشنا شدیم.