

بسم الله الرحمن الرحيم

گزارش کار آزمایشگاه اپتیک – دکتر مهدوی

آزمایش هفتم

بررسی نور قطبیده شده روی یک دی الکتریک و مقایسه نتایج آن با معادلات فرنل

حسین محمدی

۹۶۱۰۱۰۳۵

آزمایشگاه اپتیک – دانشکده فیزیک – دانشگاه صنعتی شریف

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

تاریخ انجام آزمایش : ۱ اردیبهشت سال ۱۴۰۰

مقدمه ی آزمایش

بازتاب نور از سطح یک دی الکتریک یکی از پدیده های نور است که هم در الکترومغناطیس (شرایط مرزی موج الکترومغناطیسی) و هم در اپتیک (به کمک معادلات فرنل) بررسی می شوند. نکته جالب این است که ضرایب بازتاب مولفه های عمودی و افقی میدان با یکدیگر متفاوت است و این باعث می شود که نور هنگام عبور از سطح دی الکتریک دچار قطبیدگی شود. همچنین در حالت بسیار خاص که نور به طور کامل از سطح محیط شفاف عبور کند، زاویه ی تابشی که در آن این اتفاق رخ می دهد، زاویه بروستر نام دارد.

در این آزمایش ابتدا زاویه ی بروستر را برای یک منشور به دست می آوریم (منشوری که فقط یکی از وجه های آن در پدیده مشارکت دارد). و سپس درستی رابطه $7-7$ را (که نسبت مولفه های میدان الکتریکی نور بازتابیده به مولفه عمودی نور فرودی است و در دستور کار مفصلاً بحث شده است) تحقیق می کنیم و ارتباط آن با زاویه بروستر را تحقیق می کنیم.

وسایل آزمایش:

۱. طیف سنج
۲. منشور
۳. لامپ سدیم و منبع تغذیه
۴. قطبشگر و تحلیلگر

آزمایش اول:

در این آزمایش، با قرار دادن منشور روی صفحه حامل طیف سنج، یک پرتو نور را که از سطح آن بازتاب می شود، توسط دوربین چشمی تعقیب می کنیم و سپس هنگامی که شدت نور مشاهده شده در چشمی کمینه باشد، توقف می کنیم و زاویه ای که در آن شدت نور مشاهده شده کمینه است را یادداشت می کنیم.

مطابق دستور کار این زاویه که زاویه بروستر نام دارد، به ضریب شکست مرتبط است:

$$n = \tan(\theta_B)$$

حالا داده های حاصل از این آزمایش را در جدول زیر قرار می دهیم:

(توجه کنید که زاویه تابش همان چیزی نیست که در دستور کار آمده و مطابق قاعده ی مطرح شده در جزوه اگر آن زاویه را ϕ بنامیم، زاویه تابش برابر با $\frac{180-\phi}{2}$ حاصل می شود و باید به این نکته توجه کرد که در فایل اکسل این محاسبات به طور جداگانه انجام شده اند).

زاویه بروستر

جدول ۱-۷

دفعات	$\phi_0(^{\circ}) \pm 1 \text{ min}$	$\phi_1(^{\circ}) \pm 1 \text{ min}$	$\phi = \phi_1 - \theta_0$	$\theta_B(^{\circ}) \pm \text{error}$	$n \pm \text{error}$
۱	0	60°57'	60°57'	59.525° ± 0.02°	1.699
۲	0	60°48'	60°48'	59.6° ± 0.02°	1.704
۳	0	60°56'	60°56'	59.53° ± 0.02°	1.700
میانگین				59.55° ± 0.041°	1.701 ± 0.320

برای محاسبه خطای زاویه بروستر، از خطای پراکندگی آماری استفاده می کنیم. همانطور که در فایل اکسل می توان مشاهده کرد این خطا برابر با 0.041 درجه است.

$$\delta\theta_B = \frac{\sigma_{\theta_B}}{\sqrt{3}}, \quad \theta_B = \theta_{B_{mean}} \pm \delta\theta_B$$

اما برای یافتن خطای ضریب شکست از خطای کمیت وابسته می رویم:

$$n = \tan(\theta_B) \implies \Delta n = \frac{\delta\theta_B}{\cos^2(\theta_B)}$$

و به سادگی به دست می آوریم^۱:

$$\Delta n = 0.320$$

همچنین خطای پراکندگی آن را هم در فایل اکسل مشاهده می کنید که $\delta n = 0.0028$ به دست آمده است و ما خطای کمیت وابسته را که بیشتر است لحاظ می کنیم.

نکته: این که ما مقدار ضریب شکست را در قسمت های بعدی آزمایش برابر با ۱.۵۲ قرار می دهیم و اینجا مقدار آن را حدود ۰.۲ بیشتر درآوردیم برای من کمی عجیب بود و به نظرم بایستی دقت این آزمایش بیشتر می شد؛ حدس می زنم که خطای آزمایشگر در این آزمایش زیاد است و این حدس من هم قابل توجیه است چرا که آزمایش گر باید با چشم تشخیص دهد که کجا شدت نور بازتابی کمینه است و کمینه کردن شدت نور با چشم خیلی خطادار است و باعث ایجاد این خطا شده است. اگر می توانستیم با دستگاهی کمینه شدن شدت نور را تشخیص دهیم؛ بایستی خطای ما در یافتن ضریب شکست بسیار کمتر می شد.

در نهایت می توانیم درصد خطای نسبی ضریب شکست را محاسبه کنیم:

$$\text{rel error} = \frac{1.701 - 1.52}{1.52} \times 100 = \%11.9$$

^۱ زاویه را بایستی بر حسب رادیان جای گذاری کرد

اندکی توضیحات تئوری:

می دانیم که نور پس از بازتاب از سطح یک دی الکتریک، قطبشش تغییر می کند چرا که دامنه های موازی و عمود آن، به یک نسبت تغییر نمی کنند. در این آزمایش هدف ما این است که زاویه بین قطبش نور و مولفه میدان الکتریکی عمود بر صفحه تابش را که آن را α نامیده ایم، پیدا کنیم. این کار را با امتحان کردن زاویه تابش های مختلف و یافتن α با کمینه کردن شدت نور (مشابه آزمایش قبل) انجام می دهیم. سپس رابطه ۷-۷ دستور کار را هم داریم و با جایگذاری مقدار ضریب شکست، آن را هم رسم می کنیم.

در نهایت دو نمودار $\tan(\alpha)$ بر حسب زاویه تابش یعنی θ داریم. از هر دو طریق زاویه بروستر را می توانیم از تقاطع نمودار با محور افقی پیدا کنیم و به بررسی خواسته های دستور کار بپردازیم.

بررسی آزمایش دوم:

هدف این آزمایش تحقیق رابطه ۷-۷ دستور کار است یعنی:

$$\tan(\alpha) = \frac{\sin^2(\theta) - \cos(\theta)\sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)}}{\sin^2(\theta) + \cos(\theta)\sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)}}$$

در مرحله اول، تحلیلگر را تنظیم می کنیم. با برداشتن منشور و چرخاندن تحلیل گر، به زاویه ای می رسیم که در آن شدت نور کمینه است و آن را α_0 می نامیم.

قطبشگر را روی زاویه ۴۵ درجه قرار می دهیم. سپس با چرخش مناسب، زاویه ی تابش خواسته شده را تنظیم می کنیم. (این بخش قلق آزمایش بود و در دستور کار به صورت تصویر نمایش داده شده است.)

حالا با قرار دادن منشور و چرخاندن تحلیل گر، شدت نور را مینیمم می کنیم، و زاویه ی تحلیلگر را می خوانیم، به این زاویه α_1 می گوییم.

برای هر زاویه تابش، مراحل بالا را تکرار می کنیم.

حالا به کمک داده های به دست آمده، جدول زیر را تکمیل می کنیم:

(باز هم برای یافتن زاویه تابش از دستوری که در جدول ۷-۱ داده شد، استفاده می کنیم)

اندازه گیری زوایای α و θ و نسبت ضرایب بازتاب² جدول ۲-۷

زاویه ی تابش $\theta \pm 1^\circ$	تنظیم اولیه $\alpha_0 \pm 1^\circ$	$\alpha_1 \pm 1^\circ$	$\alpha = \alpha_0 - \alpha_1$ $\pm \sqrt{2}^\circ$	$\tan \alpha$ (آزمایش)	$\tan \alpha$ (محاسبه) ± 0.00035
40°	63°	86°	-23°	-0.424 ± 0.029	-0.437
45°	63°	81°	-18°	-0.325 ± 0.027	-0.311
50°	63°	72°	-9°	-0.158 ± 0.025	-0.180
55°	63°	66°	-3°	-0.052 ± 0.025	-0.045
57°	63°	65°	-2°	-0.035 ± 0.025	0.009
58°	63°	61°	2°	0.035 ± 0.025	0.036
59°	63°	60°	3°	0.052 ± 0.025	0.064
60°	63°	57°	6°	0.105 ± 0.025	0.091
62.5°	63°	53°	10°	0.176 ± 0.026	0.160
65°	63°	51°	12°	0.213 ± 0.026	0.229
70°	63°	45°	18°	0.325 ± 0.028	0.367

برای محاسبه خطای $\tan(\alpha)$ دو راه داریم:

۱. خطای آزمایش که از روش زیر محاسبه می شود^۳:

$$\Delta(\tan \alpha) = \frac{\Delta \alpha}{\cos^2(\alpha)}$$

که خطای آزمایش را در ستون های جدول وارد کرده ایم.

۲. روش خطای کمیت وابسته که می شود:

$$\Delta(\tan \alpha) = \frac{2(n^2 - \sin^2 \theta) + 4 \sin^2 \theta \cos^2 \theta}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta} (\sin^2 \theta + \cos \theta \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta})^2} \Delta \theta$$

که این روش خطا را برابر ۰.۰۰۰۳۵ به دست می دهد که در ستون آخر جدول وارد شده است.

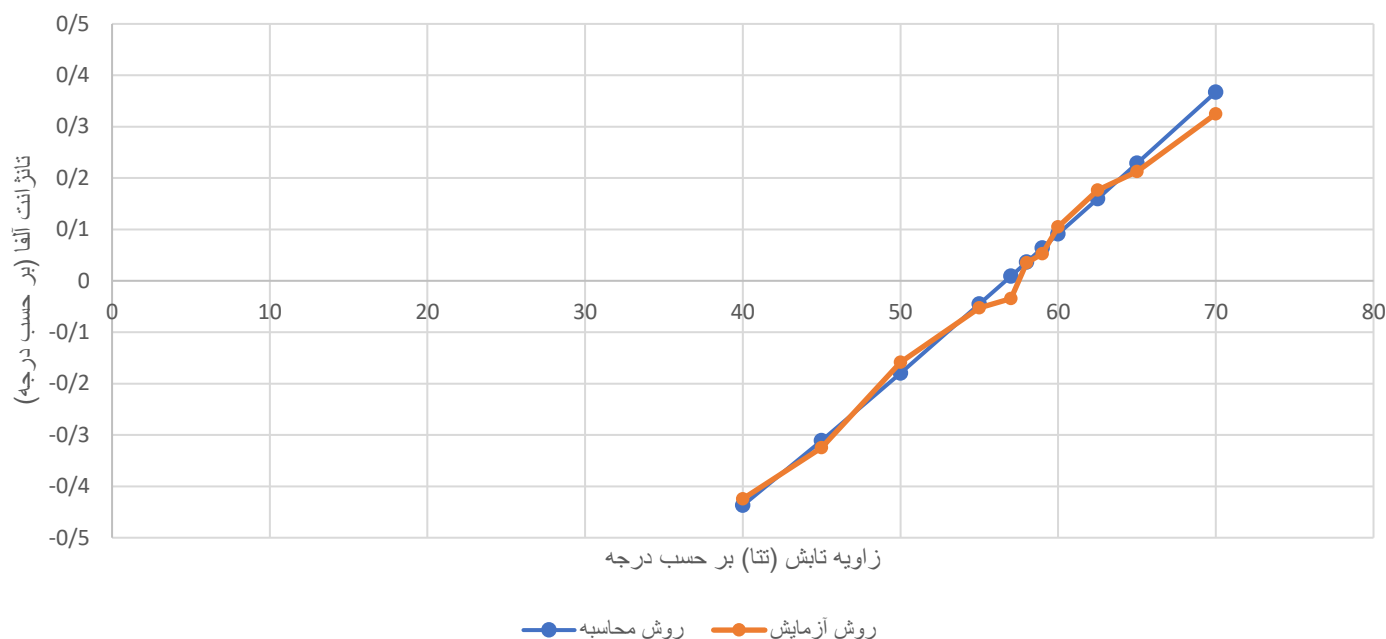
پس هر دو این روش ها مقدار خطا را به دست می دهند.

حالا نوبت بررسی نمودار های این دو داده محاسبه و آزمایشی است.

² Gaussian Error for α

تبدیل کردن زاویه ی α به رادیان در محاسبه خطای تانژانت بسیار مهم است و فراموش نشود. در فایل اکسل لحاظ شده است.³

ترسیم تانژانت زاویه آلفا بر حسب تتا در هر دو روش آزمایش و محاسبه



نمودار ۷-۱: نمودار $\tan(\alpha)$ بر حسب θ از دو روش محاسبه و آزمایش

اگر نمودار کوچک است در سربرگ دوم فایل اکسل می توانید آن را بهتر و دقیق تر ببینید.
خب وقت آن است که از دو نمودار بالا زاویه ی بروستر را پیدا کنیم (با برازش کردن خط):

$$\theta_{B_{calc}} = 56.73^\circ \pm 0.02^\circ$$

$$\theta_{B_{exp}} = 57.5^\circ \pm 0.02^\circ$$

که منظور از اندیس ها $calc$ و exp به ترتیب روش محاسبه و روش آزمایش است.

حالا درصد خطای نسبی زاویه بروستر را حساب کنیم:

$$rel\ error = \frac{57.5 - 56.73}{56.73} \times 100 = \%0.01$$

که این مقدار خطای آزمایش دوم است.

مقدار درصد خطای نسبی آزمایش اول را هم حساب کنیم:

$$rel\ error = \frac{59.55 - 56.73}{56.73} \times 100 = \%5.0$$

باز هم می بینیم که خطای آزمایش اول بیشتر از آزمایش دوم است دلیل آن هم همانطور که اشاره کردیم این است که آزمایشگر باید چشمی کمینه شدت نور را پیدا کند که این کار دارای خطای بسیار زیادی است.

عوامل ایجاد خطا:

- دقت زاویه سنجی قطبشگر و تحلیلگر ها در حد درجه بود که کم است و این باعث ایجاد خطای بیشتری در آزمایش می شود.
- تنظیم کردن چشمی کمینه شدت نور بسیار خطا آفرین است.
- خطای آزمایشگر در خواندن زوایا
- خطای سایر دستگاه های آزمایش