

دستور کار آزمایش بررسی نور قطبی روی یک دی الکتریک و تعیین زاویه بروستر

وسایل آزمایش: ریل اپتیکی ۶۰ سانتیمتری، منشور فلینت، نورسنج در قاب با شکاف متغیر، پلاریزور، آنالیزور، لیزر نیمه هادی، مفصل مدرج، لغزنده ریل اپتیکی هندسی (۴ عدد)، میزچه المان گیر

تئوری آزمایش

در امواج الکترومغناطیس میدان های برداری E و B عمود بر یکدیگر نوسان می کنند. اندازه آنها بنابر رابطه ماکسول برابر است با:

$$|B| = n|E|$$

اوم

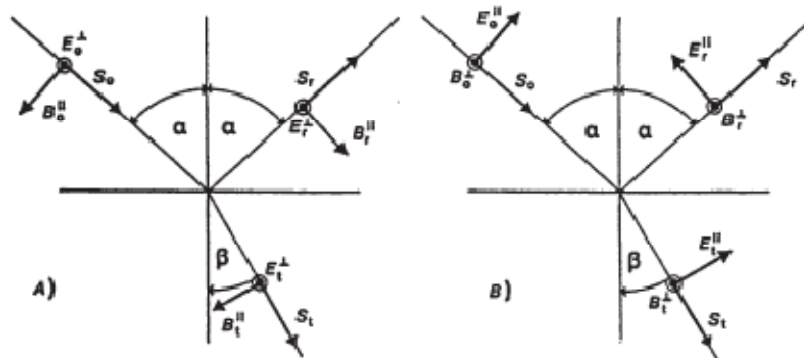
که n ضریب شکست محیطی است که نور از آن می گذرد. انرژی جابجا شده در راستای انتشار بوسیله بردار پوینتینگ مشخص می شود که برابر است با:

$$S \propto E \times B$$

$$|S| \propto |E|^2$$

(۲)

اگر نور با زاویه α به سطح یک محیط همگن با ضریب شکست n بتابد بخشی از آن با همان زاویه α بازتابش می کند و بخشی از آن نیز با زاویه شکست β وارد محیط می شود.



شکل (۱): راستای نوسان میدان برداری E در (ا) عمود بر صفحه انتشار و در (ب) موازی صفحه انتشار

اگر مولفه های موازی صفحه انتشار و عمود بر صفحه انتشار را به ترتیب با E_p و E_s برای میدان الکتریکی و B_p و B_s برای میدان مغناطیسی نشان دهیم:

$$E_{0s} + E_{rs} = E_{ts}; \quad (B_{0p} - B_{rp}) \cos \alpha = B_{tp} \cos \beta \quad (۳)$$

که در آن E_0 و B_0 مربوط به موج تابیده و E_t و B_t مربوط به موج وارد شده در جسم و E_r و B_r مربوط به موج بازتابشی است.

با استفاده از (۱) و (۳) داریم:

$$(E_{0s} - E_{rs}) \cos \alpha = n(E_{0s} + E_{rs}) \cos \beta \quad (۴)$$

ضرایب فرنل را برای بازتاب و عبور به شکل حاصل تقسیم میدان های بازتابیده و عبور کرده به میدان اولیه تعریف می کنیم. برای بردار بازتابیده داریم:

$$r_s = \frac{E_{rs}}{E_{0s}} = \frac{\cos \alpha - n \cos \beta}{\cos \alpha + n \cos \beta} = -\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (۵)$$

که r ضریب فرنل بازتاب و یا بطور خلاصه ضریب بازتاب است.

بنابر شکل (۱-۱) می توانیم برای بردارهای میدان روابط زیر را بنویسیم:

$$B_{0s} + B_{rs} = B_{ts}; \quad (E_{0p} - E_{rp}) \cos \alpha = E_{tp} \cos \beta \quad (۶)$$

با استفاده از (۱) و (۶) می نویسیم:

$$(E_{0p} - E_{rp}) \cos \alpha = \frac{1}{n}(E_{0p} - E_{rp}) \cos \beta \quad (۷)$$

همانند رابطه (۵) می توان ضریب بازتاب را برای مولفه موازی بدست آورد:

$$r_p = \frac{E_{rp}}{E_{0p}} = \frac{n \cos \alpha - \cos \beta}{n \cos \alpha + \cos \beta} = -\frac{\tan(\alpha - \beta)}{\tan(\alpha + \beta)} \quad (۸)$$

باتوجه به رابطه اسنل برای شکست نور ($n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$) می توان روابط (۵) و (۸) را به شکل زیر نوشت:

$$r_s = -\frac{(\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \alpha)^2}{n^2 - 1} \quad (۹-ا)$$

$$r_p = \frac{n^2 \cos \alpha - \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{n^2 \cos \alpha + \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \quad (۹-ب)$$

مشاهده می کنید که برای تمام مقادیر α بین صفر و $\pi/2$ همواره $r_s \geq r_p$

برخی موارد ویژه:

ا) برای $\alpha = \beta = 0$:

$$r_p = r_s = \left| \frac{n-1}{n+1} \right| \quad (۱۰)$$

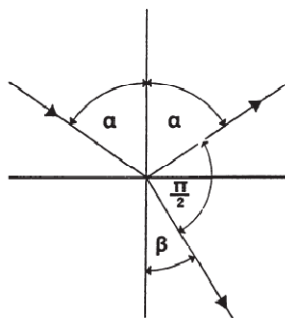
ب) برای فرود خراشان ($\alpha = \pi/2$)

$$r_p = r_s = 1 \quad (۱۱)$$

پ) اگر پرتو بازتابیده و شکست یافته برهم عمود باشند ($\alpha + \beta = \pi/2$):

$$r_p = 0$$

بنابراین پرتو بازتابیده کاملاً قطبیده خواهد بود و بردار میدان الکتریکی تنها در راستای عمود بر صفحه انتشار نوسان می‌کند (شکل (۲)).



شکل (۲): قانون بروستر

بنابر قانون شکست اسنل:

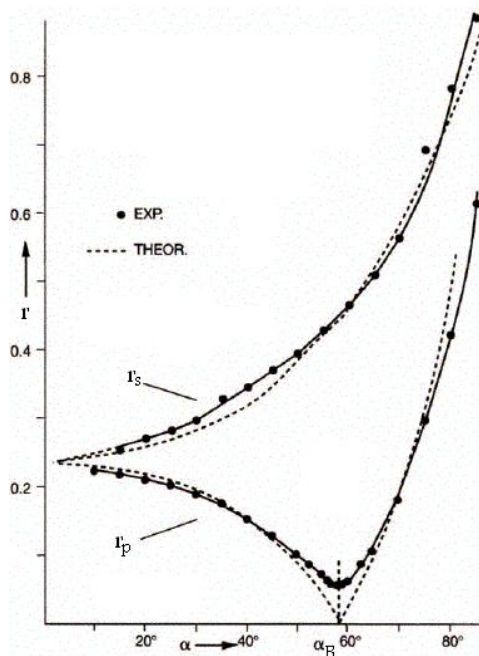
$$\sin \alpha = n \sin \beta = n \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) = n \cos \alpha \quad (12)$$

که در این حالت خاص داریم:

$$\tan \alpha_B = n \quad (13)$$

که α_B را به نام زاویه بروستر می‌شناسیم.

اگر منحنی r_p و r_s را که از روابط (۹-ا) و (۹-ب) بدست می‌آیند را رسم کنیم خواهیم داشت.



شکل ۳

روش آزمایش

توجه: این آزمایش بایستی در یک محیط تاریک انجام شود.

ابتدا دو ریل را چنان از یکدیگر باز کنید تا زاویه میان آنها ۱۸۰ درجه شود. برای اطمینان از اینکه زاویه ۱۸۰ درجه است به این ترتیب عمل کنید:

لیزر را در ابتدای یکی از ریل ها بر روی پایه قرار دهید، و پلاریزور را در حالی که بر روی صفر قرار دارد در مقابل آن قرار دهید، در این حالت تنها مولفه E_s به منشور می تابد. سپس نورسنج را در انتهای ریل دیگر قرار دهید. لیزر را روشن کرده و ریل ها را طوری تنظیم کنید تا پرتو لیزر مستقیماً به داخل شکاف نورسنج بتابد. در این حالت زاویه بین دو ریل ۱۸۰ درجه خواهد بود. شدت نور را در این حالت بوسیله نور سنج اندازه گیری کنید (i_0).

میزچه نگهدارنده منشور را بر روی مفصل مدرج متصل کننده دو ریل قرار دهید و ارتفاع آن را بگونه ای تنظیم کنید که پرتو لیزر پیش از رسیدن به نورسنج به منشور برخورد نماید. منشور دارای دو رویه شفاف و یک رویه مات است آن را روی میزچه بگونه ای قرار دهید که پرتو لیزر کاملاً عمود به یک رویه شفاف آن بتابد، برای اینکه از عمود بودن زاویه تابش مطمئن شوید منشور را بایستی طوری روی میزچه قرار دهید که پرتو بازتابیده از رویه منشور مستقیماً به روزنه لیزر بازگردد. پس از این کار منشور را بر روی میزچه ثابت کنید. در این حالت زاویه ای را که شاخص مفصل نشان می دهد را یادداشت نمایید. لیزر را روشن نمایید. سپس دو ریل را بچرخانید تا پرتو بازتابیده از رویه منشور به نورسنج بتابد. با خواندن زاویه شاخص و معلوم بودن زاویه ای که شاخص در ابتدا نشان می داده است می توانید زاویه تابش (α) را محاسبه نمایید. شدت نور رسیده به نور سنج را در زوایای تابشی مختلف اندازه گیری کنید (i) و جدول (۱) را کامل نمایید. توجه کنید از آنجایی که شدت نور متناسب با مجذور میدان است بنابراین در جدول (۱) برای رسم نمودارهای r_s و r_p از جذر مقادیر i استفاده شده است.

α	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۳	۵۶	۵۹	۶۲	۶۵	۷۰	۷۵	۸۰	۸۵	۹۰
i																	
$r_s = \frac{E_s}{E_0} = \sqrt{\frac{i}{i_0}}$																	

جدول (۱)

در حالت دوم پلاریزور را ۹۰ درجه بچرخانید، در این حالت تنها مولفه E_p به منشور می تابد. منشور را برداشته و زاویه بین دو ریل را همانند آنچه یستر بیان شد ۱۸۰ درجه کنید. در این حالت شدت نور را اندازه گیری کنید (i_0) و منشور را بر روی میزچه قرار داده و آن را بچرخانید تا پرتو تابشی بر آن عمود بتابد (همانند قسمت قبل عمل کنید)، سپس زاویه ای را که شاخص مفصل نمایش می دهد را خوانده و با استفاده از آن و چرخاندن ریل ها برای زاویه های مختلف تابش پرتو لیزر بر روی رویه منشور شدت پرتو بازتابی را اندازه گیری نمایید و جدول (۲) را کامل کنید.



Shargh Azma

شرق آزما تولید کننده تجهیزات آزمایشگاهی و تحقیقاتی فیزیک

α	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۳	۵۶	۵۹	۶۲	۶۵	۷۰	۷۵	۸۰	۸۵	۹۰
i																	
$r_p = \frac{E_p}{E_0} = \sqrt{\frac{i}{i_0}}$																	

جدول (۲)

مقادیر بدست آمده برای r_p و r_s را بر روی نموداری مانند شکل (۳) رسم کنید و با استفاده از آن زاویه بروستر را برای منشور بدست آورید و با مقداری که از راه محاسبه توسط رابطه (۱۳) بدست می‌آید مقایسه کنید (ضریب شکست منشور را از استاد خود بپرسید).