آزمایش شماره [II]
نور پلاریزه

هدف آزمایش : بررسی قانون مالوس ، تعیین غلظت محلول ها به روش پلاریمتری

وسایل مورد نیاز : پایه‌ی اپتیکی، دیافراگم چشمی، پلاریزور ، آنالیزور ، لامپ هالوژنه با نگهدارنده ، ترانسفورماتور$\frac{12V}{10H}$ ، سیم‌های رابط، فتوسل ، عدسی $f = 100mm$ ، میکروآمپرمتر، مقاومت $10k\Omega$ ، پلاریمتر ، لوله‌های پل یاب با طول‌های مختلف

مبانی نظری آزمایش :

آزمایش‌های مختلف مربوط به نور نشان می‌دهد که نور دارای خاصیت موجی است . تئوری الکترومغناطیسی بیان می‌کند که نور از دو بردار الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم تشکیل شده است که صفحه ارتعاش آن‌ها بر انتشار نور عمود است، ارتعاشات نور عرضی بوده و امتداد ثابتی ندارد. اگر در حالت خاص امتداد ارتعاش نور ثابت باشد می‌گوییم نور پلاریزه است.

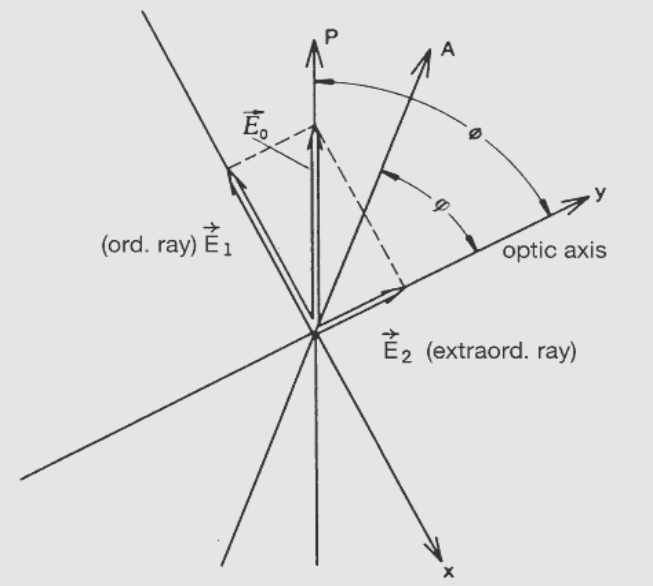
نور را به روش‌های مختلف می‌توان پلاریزه کرد که عبارتند از :

۱. پلاریزاسیون بواسطه عبور نور از اجسام غیر ایزوتروپ با توجه به پدیده جذب
۲. پلاریزاسیون بواسطه انعکاس در زاویه بروستر
۳. پلاریزاسیون نور به واسطه انکسار مضاعف در بلورهایی که ضریب شکست دوگانه دارند

نور پلاریزه انواع مختلفی از جمله خطی، دایروی و بیضوی دارد که از ترکیب پلاریزاسیون‌های خطی می‌توان پلاریزاسیون‌های دایروی و بیضوی را پدید آورد.

آزمایش اول : تحقیق قانون مالوس

اگر E_0 دامنه بردار الکتریکی نور خارج شده از پلاریزور و$\boldsymbol{\phi}$ زاویه بین امتداد محور نوری یک بلور دو شکستی و امتداد قطبش پلاریزور باشد شکل (۷-۱)، برای دامنه شعاع عادی و غیرعادی روابط زیر را داریم :



شکل ۷- ۱

$$E_1 = E_0 \sin\phi$$
$$E_2 = E_0 \cos\phi \qquad (1)$$

در لحظه t ، وضعیت نوسانی دو شعاع در سطح بلور بصورت زیر می‌باشد:

$$E_1 = E_0 \sin\phi \sin\omega t$$
$$E_2 = E_0 \cos\phi \sin\omega t \qquad (2)$$

در هنگام خروج از بلور مؤلفه‌ها بصورت زیر است :

$$E_1 = E_0 \sin\phi \sin\omega t$$
$$E_2 = E_0 \cos\phi \sin(\omega t - \delta) \qquad (3)$$

اگر ضخامت بلور دو شکستی برابر باشد با :

$$d = \frac{\lambda}{4}.\frac{1}{n_0 n_e} \qquad (4)$$

که n_0 ضریب شکست شعاع عادی و n_e ضریب شکست شعاع غیرعادی است، حالتی که اختلاف راه بین دو شعاع $\frac{\lambda}{2}$ (اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$) است، بلور را ربع موج می‌نامند.

مؤلفه‌های نور خروجی با توجه به رابطه *(3)* بصورت زیر است.

$$E_x = E_1 = E_0 \sin\phi \sin\omega t \qquad (5)$$
$$E_y = E_2 = E_0 \cos\phi \sin\omega t$$

که رابطه *(5)* نمایش پارامتری یک بردار چرخان در امتداد انتشار است.

برای زوایای $\phi = 0°$ و $\phi = 90°$ ،نور عبوری از بلور پلاریزه سطحی است و شدت آن برابر است با:

$$I = I_0 \approx E_0^2 \qquad (6)$$

برای زاویه ، $\phi = 45°$ داریم که $\sin\phi = \cos\phi = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ، طول بردار میدان الکتریکی نور خروجی از بلور برابر است با :

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} \qquad (7)$$

در این حالت این نور قطبی دایروی است و شدت آن برابر است با :

$$I = \frac{I_0}{2} \approx \frac{E_0^2}{2} \qquad (8)$$

در این صورت برای حالت‌های مختلف آنالیزور شدت نور عبوری ثابت است.

در سایر زوایا به جز صفر، 45 و 90 درجه نورعبوری پلاریزه بیضوی است ، یعنی انتهای بردار E حول محوری موازی امتداد انتشار، یک بیضی را رسم می‌نماید.

$$E_a = E_0 \sin\phi \quad (x \text{ امتداد})$$
$$E_b = E_0 \cos\phi \quad (y \text{ امتداد}) \qquad (9)$$

برای شدت نور عبوری از آنالیزور در امتدادهای برگزیده روابط زیر را داریم:

$$I_a = E_a^2 = E_0^2 \sin^2\phi$$
$$I_b = E_b^2 = E_0^2 \cos^2\phi \qquad (10)$$

با چرخش آنالیزور، نسبت زیر را بین شدت ماکزیمم و مینیمم نوری عبوری خواهیم داشت :

$$\frac{I_a}{I_b} = \tan^2\phi \qquad (11)$$

اگر زاویه بین آنالیزور و محور نوری صفحه $\frac{\lambda}{4}$، φ باشد شدت نور عبوری از رابطه *(12)* بدست می‌آید.

$$I = E_0^2 \cos^2\varphi \cos^2\phi + E_0^2 \sin^2\phi \sin^2\varphi \qquad (12)$$

همچنین اگر فرض کنیم پرتویی با قطبیدگی خطی به قطبش‌گری که با زاویه α نسبت به راستای ارتعاش میدان الکتریکی پرتو قرارگرفته است برخورد نماید، آنگاه میدان الکتریکی موج عبوری از قطبش‌گر برابر است با :

$$E = E_0 \cos \alpha$$

که E_0 میدان الکتریکی پرتو تابیده به قطبش‌گر است . بنابراین شدت پرتو عبوری برابرست با :

$$I = E_0^2 \cos^2 \alpha = I_0 \cos^2 \alpha \qquad (13)$$

که این رابطه به قانون مالوس معروف است .

در این آزمایش شدت نور با استفاده از یک سلول نوری به ولتاژ تبدیل می‌شود به طوری‌که داریم :

$$\frac{U_\alpha}{U_0} = \frac{I}{I_0} = \cos^2 \alpha \qquad (14)$$

U_α ولتاژ مربوط به زاویه α بین محورهای پلاریزور و آنالیزور است و U_0 برای حالت $\square = 90°$ است .

شرح عملی آزمایش :

برای انجام آزمایش دستگاه را مطابق شکل زیر سوار کنید.

شکل۷- ۲

در این شکل وسایل مورد استفاده عبارتند از (از سمت راست به چپ):

۱- لامپ هالوژنه (در نقطه صفر ریل)
۲- فیلتر محافظ (چسبیده به لامپ)
۳- دیافراگم چشمی (در فاصله $17cm$)

۴- عدسی $f = 100mm$ (در شکل دیده نمی‌شود به این معنی که حضور آن اختیاری است).
۵- فیلتر پلاریزه کننده (در شکل بالا بعد از دیافراگم چشمی قرار دارد)
۶- آنالیزور
۷- فتوسل و نگهدارنده
۸- مقاومت
۹- میکروآمپرمتر

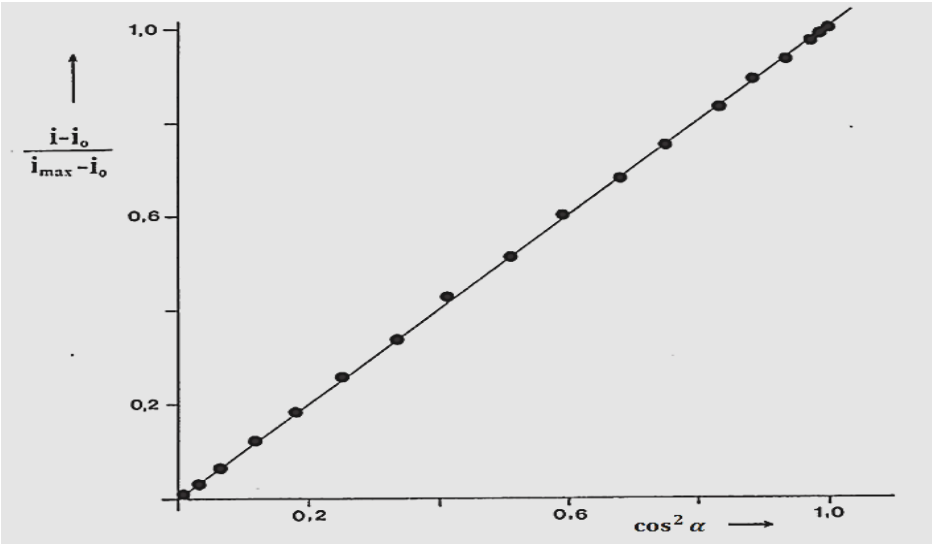
هر دو صفحه‌ی پلاریزور وآنالیزور را در موقعیت $\alpha = 0°$ قرار خواهیم داد. دیافراگم چشمی را ببندید. بطوریکه نوری به فتوسل نرسیده و میکروآمپرمتر را کالیبره کنید. لامپ هالوژنه را روشن کرده و چند دقیقه صبر کنید. سپس دیافراگم چشمی را به اندازه کافی باز کنید بعد با ثابت نگه داشتن وضعیت پلاریزور ، آنالیزور را (پلاریزور نزدیک فتوسل) از صفر تا ۹۰ درجه تغییر دهید و مقادیری را که از روی میکروآمپرمتر می‌خوانید در جدول شماره ۱ یادداشت کنید.

$\alpha°$										
$i(mv)$										

جدول شماره ۱

به ازای هر زاویه آنالیزور مقدار $\boldsymbol{i}$ را از روی میکروآمپرمتر بخوانید و هم‌چنین مقدار i_0 به ازای $\alpha = 90°$ (در این حالت چون پلاریزاسیون صد درصد صورت نمی گیرد i_0 را خواهیم داشت).

حال با توجه به نتایج بدست آمده نمودار $\frac{i-i_0}{i_{max}-i_0}$ را برحسب $cos^2\alpha$ رسم کرده و با نمودار تجربی مقایسه کنید (i_{max} ولتاژ مربوط به $\alpha = 0°$ است).



شکل ۷- ۳

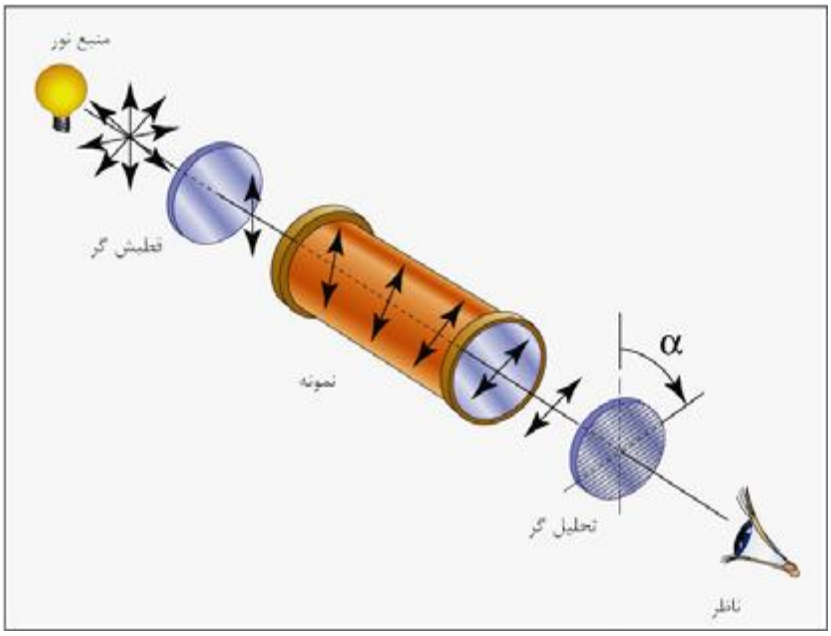
آزمایش دوم : تعیین غلظت محلول به وسیله پلاریمتری

بعضی از محلول‌ها از لحاظ نوری فعال هستند این محلول‌ها شامل ترکیبات آلی که دارای ترکیبات کربن نامتقارن هستند، می‌باشند مانند اسید تارتاریک و اسید لاکتیک .

از خواص نوری محلول‌های فوق این است که قادر به چرخش صفحه ی پلاریزاسیون نور می‌باشند مقدار زاویه‌ی چرخش صفحه‌ی پلاریزاسیون نور در عبور از محلول به غلظت مایع و طول آن بستگی دارد . اگر غلظت محلول c باشد و طول مایع l ، خواهیم داشت :

$$\alpha = plc$$

که p توان چرخانندگی و α زاویه چرخش است ، توان چرخانندگی برای محلول‌های مختلف ، متفاوت است .

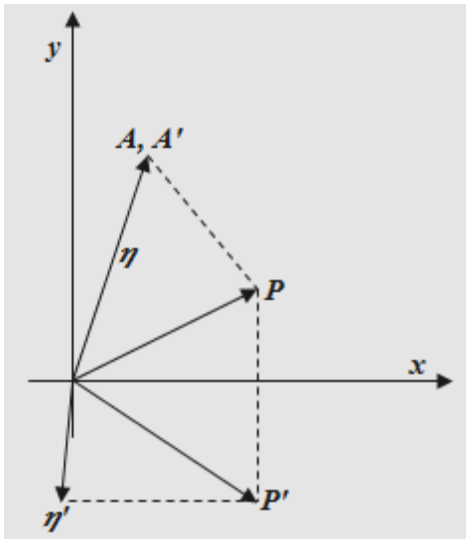


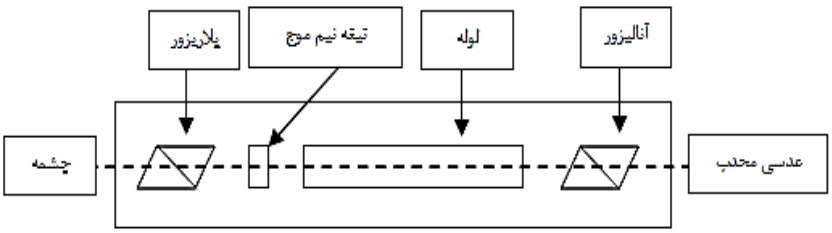
شکل ۷- ۴

شکل ۷- ۵

آشنایی با دستگاه پلاریمتر

پلاریمتر برای اندازه‌گیری غلظت یا راست‌بری یا چپ‌بری محلول‌هاست. این دستگاه تشکیل شده است از یک لوله که در آن یک پلاریزور و در طرف دیگر آن آنالیزور قرار دارد که هر دو از نوع منشور نیکول است این لوله بر روی پایه‌ای قرار دارد و در مقابل پلاریزور و یک منبع نورانی تک رنگ روشن می‌شود . بین پلاریزور و آنالیزور لوله‌ای قرار می گیرد که مختص نمونه مورد آزمایش می‌باشد. بین پلاریزور و لوله، تیغه‌ای نیم موج قرار دارد .



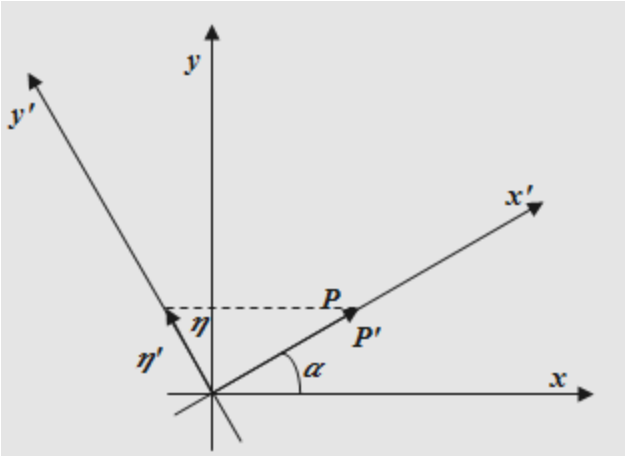


شکل ۷- ۶

بعد از آنالیزور یک عدسی محدب ، برای بزرگنمایی وجود دارد .

فرض می‌کنیم جهت محورهای پلاریزور و آنالیزور به شکل زیر باشد ، x و y محورهای تیغه‌ی نیم موج هستند .

آن قسمت از پرتوهایی که وارد تیغه نیم موج نمی‌گردند تصویری روی آنالیزور برابر η می‌دهند و قسمتی که از تیغه نیم موج عبور می‌کند ارتعاش P به P' تبدیل می‌شود یعنی نسبت به راستای برگزیده x قرینه می‌شود . این ارتعاش P' بروی آنالیزور η' خواهد بود . چون η و η' برابر نیستند در نتیجه در میدان دید دو نیم دایره با شدت متفاوت مشاهده می‌شوند. حال اگر آنالیزور را بچرخانیم تا محور ox بر P منطبق گردد در این حال دو تصویر η و η' مساوی خواهند شد (شکل ۷- ۷). در این صورت در میدان دید یک دایره یکنواخت مشاهده خواهد شد زیرا قرینه P بر خودش منطبق خواهد شد . این وضعیت صفر دستگاه است .



شکل ۷- ۷

حال اگر این محلول فعال نوری بین آنالیزور و پلاریزور قرار گیرد ارتعاش P به اندازه α درجه می‌چرخد در این صورت دیگر η و η' مساوی نیستند برای تساوی و انطباق و دیدن دایره یکنواخت در میدان دید بایستی آنالیزور را در همان جهت چرخش P چرخاند .

شرح عملی آزمایش :

پلاریمتر را روشن کنید بوسیله چشمی دو نیم دایره با روشنایی متفاوت خواهید دید که مرز آن‌ها واضح است به کمک دسته آنالیزور آن‌را بگردانید تا روشنایی دو نیم دایره یکسان شود . در این حالت دو نیم دایره قابل تشخیص نخواهند بود . درجه دستگاه را در این حالت بخوانید این درجه صفر دستگاه می‌باشد . اکنون محلول را در لوله پل یاب بریزید بطوریکه حباب هوا در آن وجود نداشته باشد. لوله پل یاب را در پلاریمتر قرار دهید و سرپوش آن‌را بگذارید . ملاحظه خواهید کرد روشنایی دو نیم دایره فرق کرده است . آنالیزور را بچرخانید تا روشنایی یکنواخت گردد . زاویه چرخش را اندازه‌گیری کنید (با توجه به صفر دستگاه). از فرمول مربوط به توان چرخانندگی برای غلظت مشخص توان چرخانندگی را حساب کنید .

$$p = \frac{\alpha}{lc}$$

لوله پل یاب دیگری را انتخاب کنید که طولش با لوله اول یکسان نباشد آزمایش را تکرار کرده و رابطه

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

را تحقیق کنید .

محلول با غلظت دیگری را تهیه و رابطه $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{c_1}{c_2}$ را برای طول های مساوی بررسی کنید .

محلولی با غلظت نامشخص انتخاب کرده و غلظت آن را تعیین کنید .