عنوان آزمایش:

اثر فارادی: تعیین ثابت وردت برای شیشه فلینت به‌صورت تابعی از طول‌موج

هدف آزمایش:

۱- مشاهده چرخش صفحه قطبش در صورت عبور نور تکفام قطبیده از میان شیشه فلینت در میدان مغناطیسی؛

۲- تعیین ثابت وردت از رابطه بین زاویه چرخش و شار مغناطیسی؛

۳- صحه‌گذاری رابطه بین ثابت وردت و طول‌موج.

وسایل موردنیاز آزمایش:

۱- فیلتر قطبنده (آنالیزور و پلاریزور)؛

۲- فیلتر تکفام زرد؛

۳- فیلتر تکفام آبی- سبز؛

۴- فیلتر تکفام آبی- بنفش؛

۵- فیلتر تکفام بنفش؛

۶- بلور فلینت همراه با نگهدارنده؛

۷- واگن همراه صفحه مناسب (به‌عنوان پایه سامانه تولید میدان مغناطیسی)؛

۸- هسته U شکل به‌عنوان هسته ترانسفورماتورها در سامانه تولید میدان مغناطیسی؛

۹- یک جفت قطعه مخروطی قطب مغناطیسی همراه با سوراخ مناسب برای عبور نور؛

۱۰- یک جفت سیم‌پیچ مناسب (۲۵۰ دور ۱۰ آمپر)؛

۱۱- مولتی‌متر دیجیتال؛

۱۲- لامپ هالوژن ۱۲ V /۹ W؛

۱۳- محفظه لامپ هالوژن ۱۲ V /۵۰/۹۰ W؛

۱۴- ترانسفورماتور ۲ تا ۱۲ V، ۱۲۰ W؛

۱۵- لغزنده تصویر[1]؛

۱۶- عدسی در فریم با فاصله کانونی ۵۰ میلی‌متر؛

۱۷- پرده نمایش شفاف؛

۱۸- ریل اپتیکی استاندارد به طول یک متر؛

۱۹- واگن اپتیکی؛

۲۰- ترانسفورماتور متغیر با ولتاژ بسیار پایین؛

۲۱- توان‌سنج یا حسگر فوتوسل؛

۲۲- نگهدارنده فوتوسل در صورت استفاده از حسگر فوتوسل؛

۲۳- کابل‌های (آبی/ قرمز) در متراژ ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر.

تئوری آزمایش:

در سال ۱۸۴۵ فارادی پدیده زیر را کشف کرد:

اگر یک ماده همسانگرد شفاف در یک میدان مغناطیسی قوی قرار گیرد و نور قطبیده خطی در جهت میدان مغناطیسی از میان آن عبور کند، صفحه قطبش نور قطبیده خطی به اندازه زاویه ϕ هنگام عبور از ماده شفاف می‌چرخد (به شکل (۱) مراجعه شود). زاویه چرخش ϕ متناسب با چگالی شار مغناطیسی B و طول L محیطی است که نور از میان آن عبور می‌کند:

$$\phi = V \bullet B \bullet L \qquad (۱)$$

L=طول ماده شفاف

B=چگالی شار مغناطیسی

V=ثابت وردت

ثابت تناسب V ثابت وردت نامیده می‌شود. V وابسته به طول‌موج نور، λ، و دما است.

این مشاهدات می‌توانند به‌وسیله تصویر کردن نور قطبیده خطی به دو مولفه قطبش متعامد σ_+ و σ_- توضیح داده شود.

1- Picture slider

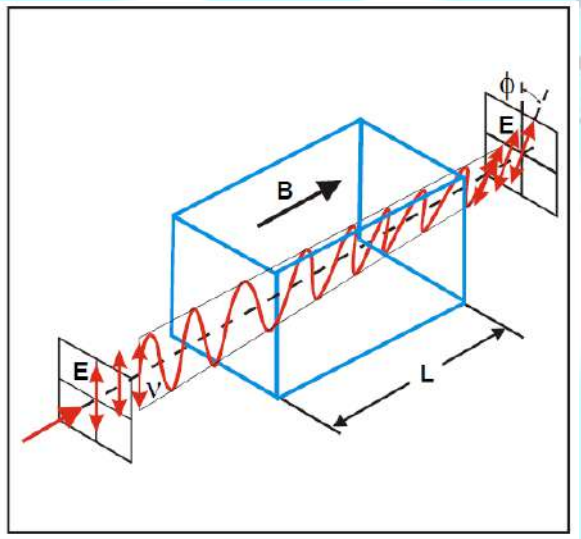
در فیزیک اتمی، میدان مغناطیسی روی حرکت الکترون‌ها در اتم تأثیر می‌گذارد. میدان مغناطیسی سبب نوسان بارها شده و این نوسان حرکت تقدیمی اضافه‌ای را ایجاد می‌کند. فرکانس تقدیمی برابر فرکانس لارمور است:

$$\omega_L = \frac{e}{m} B \qquad (۲)$$

e=بار ذرات نوسان‌کننده

m=جرم ذرات نوسان‌کننده

B=چگالی شار مغناطیسی



شکل (۱): طرحواره‌ای از اثر فارادی، B، چگالی شار مغناطیسی موازی با جهت انتشار نور قطبیده، E، میدان الکتریکی، L، طول ماده همسانگرد است.

مولفه‌های σ_+ و σ_- نور قطبیده نسبت به بارهایی که حرکت تقدیمی دارند، اختلاف فرکانس دارند. یکی از مولفه‌ها، فرکانس $\omega+\omega_L$ و مولفه دیگر، فرکانس $\omega-\omega_L$ دارند. تفاوت ضریب‌شکست n_+ و n_- و سرعت‌های فاز V_+ و V_- وجود دارد که معادل فعالیت اپتیکی است.

معادله زیر می‌تواند برای زاویه چرخش ϕ صفحه قطبش به‌صورت تابعی از طول L ماده‌ای که نور از آن عبور می‌کند، چنین به‌دست آید:

$$\phi = \frac{\omega \bullet (n_+ - n_-)}{2c} B \qquad (۳)$$

ω=فرکانس نور عبوری

n_+ و n_- =ضرایب شکست

سرعت نور=c

اگر ضریب‌شکست به‌صورت تابعی از طول‌موج مشخص باشد، ثابت وِردت می‌تواند با فرض بالا محاسبه شود:

$$V = \frac{e\lambda}{2mc^2}\frac{dn}{d\lambda} \qquad (۴)$$

بار الکترون=e

جرم الکترون=m

سرعت نور=c

معادله (۴) برای بازه مغناطیسی بسیاری برقرار است. در این آزمایش شیشه فلینت استفاده می‌شود. برای این نوع شیشه تقریب زیر به‌کار می‌رود:

$$\frac{dn}{d\lambda} = \frac{-1.8\times10^{-14}}{\lambda^3}m^3 \qquad (۵)$$

طبق رابطه فوق، ضریب وردت با افزایش λ به‌صورت تابعی از $\frac{1}{\lambda}$ کاهش پیدا می‌کند:

$$V = \frac{-e}{2mc^2}\frac{1.8\times10^{-14}}{\lambda^2}m^3 \qquad (۶)$$

رابطه $\frac{e}{m}$ می‌تواند از اندازه‌گیری منحصراً اپتیکی و اطلاعات سرعت نور استخراج شود. مقدار به‌دست آمده برای برخی از مواد به‌خوبی به مقادیر شناخته‌شده نزدیک است. این موضوع نشان می‌دهد که نوسانات طبیعی الکترون دقیقاً مسئول اثر فارادی است.

در این آزمایش، میدان مغناطیسی همگن با قدرت کافی برای صحه‌گذاری کمی معادلات (۱) و (۲) محیا نیست. بنابراین ما خود را به موارد زیر محدود می‌کنیم:

الف- صحه‌گذاری تناسب بین چرخش صفحه قطبش ϕ و میدان مغناطیسی؛

ب- نمایش کاهش ثابت وردت، V، با افزایش طول‌موج، λ.

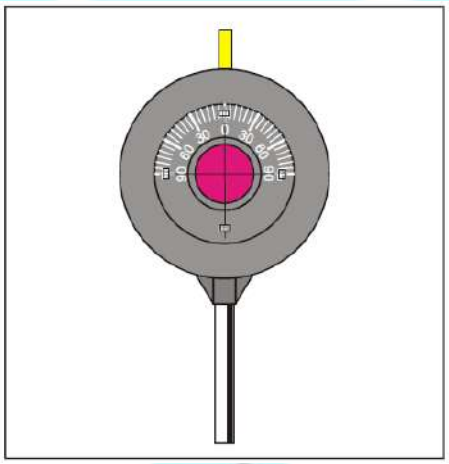
نحوه انجام آزمایش

در این آزمایش تار رتیکول (دو رشته نازک عمود برهم) به آنالیزور متصل شده و روی صفحه نمایش شفاف تصویر می‌شود تا بتوان چرخش $\Delta\phi$ را به‌دقت تعیین کرد.

توجه: هنگامی‌که تار رتیکول روی یک صفحه با مقیاس زاویه‌ای جداگانه (مانند یک صفحه کاغذ با یک صفحه دوار با مقیاس زاویه‌ای با دقت یک درجه) که روی صفحه نمایش شفاف چسبانده شده‌است، تصویر می‌شود، روش اندازه‌گیری بهبود می‌یابد.

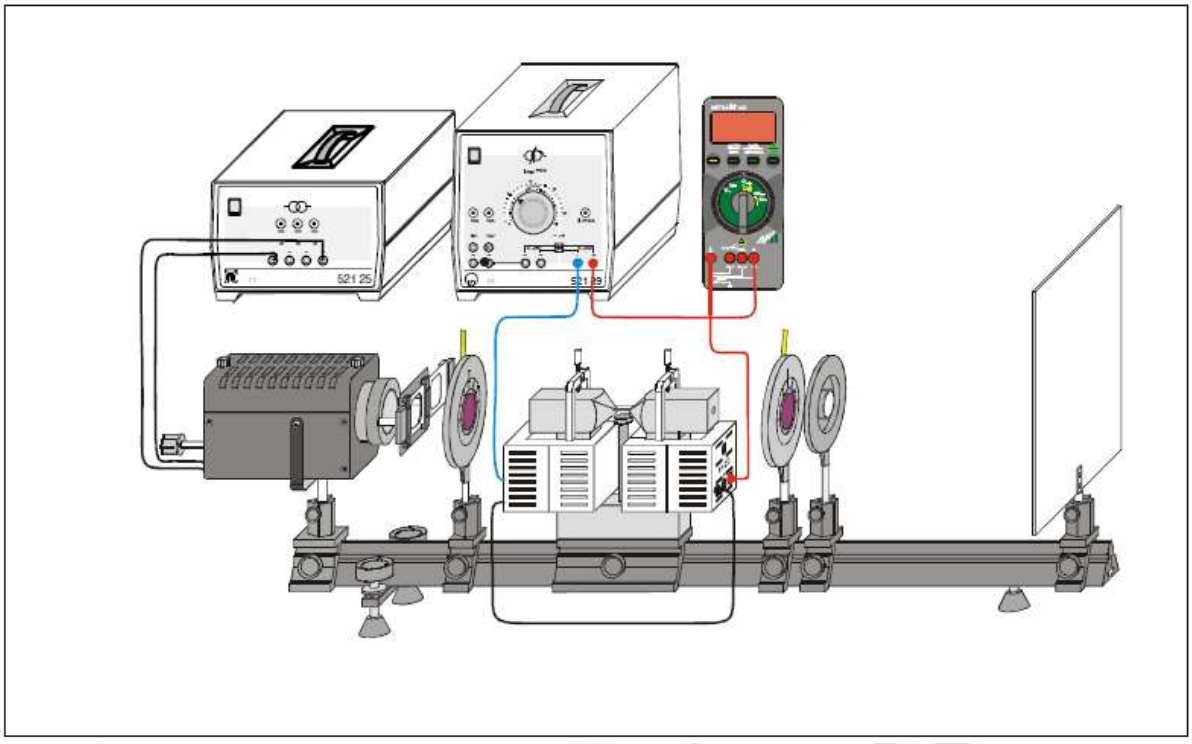
همه تنظیمات آنالیزور می‌تواند از این مقیاس زاویه‌ای خوانده شود.

۱- یکی از فیلترهای قطبنده را با تار رتیکول مشابه آنچه در شکل (۲) نشان داده شده‌است، تجهیز کنید. اطمینان حاصل کنید که تار رتیکول دقیقاً در زوایای قائم باشند و دقیقاً در مرکز آنالیزور قرار گرفته باشند.



شکل (۲): اتصال تار رتیکول به آنالیزور

چیدمان آزمایش در شکل (۳) نشان داده شده‌است.



شکل ۳- چیدمان آزمایش بررسی چرخش صفحه قطبش در میدان مغناطیسی

۲- لامپ هالوژن را روی میز اپتیکی مطابق شکل (۳) تنظیم کنید.

۳- لغزاننده تصویر همراه با فیلتر حرارتی را روی متمرکزکننده قرار دهید.

۴- پلاریزور را نزدیک به لامپ هالوژن روی میز اپتیکی مطابق شکل (۳) قرار دهید.

۵- هسته U شکل ترانسفورماتور قابل انتقال با دو سیم‌پیچ را روی پایه واگن با سوراخ‌های مناسب قرار داده و آن را به نگهدارنده شیشه فلینت ثابت کنید.

۶- قطعات مخروطی قطب مغناطیسی را به‌گونه‌ای روی هسته U شکل تنظیم کنید که شیشه فلینت بتواند در مکانی که در شکل (۳) برای آن تعیین شده‌است، قرار گیرد.

۷- قطعات مخروطی قطب مغناطیسی را بدون آن‌که با شیشه فلینت در تماس باشد به سمت آن حرکت دهید.

۸- از گیره برای ثابت کردن قطعات مخروطی قطب مغناطیسی روی هسته U شکل استفاده کنید.

۹- آنالیزور (پلاریزور) را روی میز اپتیکی (همانگونه‌که در شکل (۳) نشان داده شده‌است) نزدیک به هسته U شکل قرار دهید.

۱۰- صفحه نمایش شفاف را بعد از آنالیزور قرار دهید.

۱۱- عدسی با صفحه کانونی f=۵۰ mm را بین آنالیزور و صفحه نمایش شفاف قرار دهید.

❖ چیدمان الکتریکی

۱- سیم‌پیچ‌ها و مولتی‌متر دیجیتال را به‌صورت سری به ترانسفورماتور ولتاژ بسیار پایین متغیر (منبع تغذیه سیم‌پیچ‌ها) متصل کنید.

۲- لامپ هالوژن را به سوکت‌های ۱۲ ولت ترانسفورماتور ۱۲۰ وات (منبع تغذیه لامپ هالوژن) متصل کنید.

❖ تنظیم اپتیکی

۱- پوشش محفظه دارای شکاف‌های تهویه محفظه لامپ هالوژن را بردارید. از لامپ ۱۰۰ وات هالوژن همراه با بازتابنده در لامپ هالوژن استفاده کنید.

۲- لغزاننده تصویر با فیلتر حرارتی را برای جذب مولفه فروسرخ نور هالوژن استفاده کنید.

۳- منبع نور و قطعات مخروطی قطب مغناطیسی را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که نور تا جایی‌که ممکن است از میان سوراخ‌های قطعات مخروطی قطب مغناطیسی (بدون شیشه فلینت در نگهدارنده) بگذرد.

۴- برای تصویر کردن تصویر تار رتیکول روی آنالیزور بر صفحه نمایش، عدسی را به سمت آنالیزور جابه‌جا کنید تا جایی‌که تصویری واضح و تیز مشاهده کنید.

توجه: هنگامی‌که از مقیاس زاویه‌ای روی صفحه نمایش شفاف استفاده می‌کنید، تار رتیکول و مقیاس نقاله باید دقیقا هم‌مرکز باشند.

۵- فیلتر قطبنده را قرار دهید.

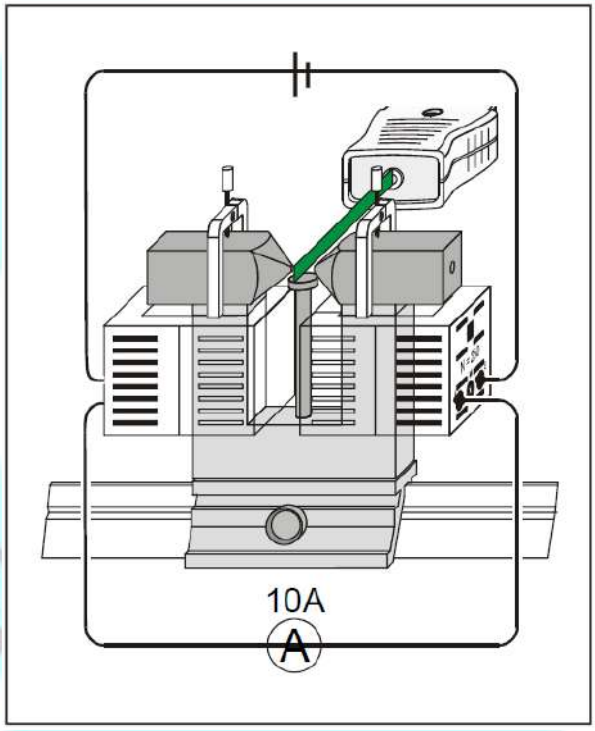
انجام آزمایش

الف- کالیبراسیون میدان مغناطیسی

۱- شیشه فلینت را خارج کنید.

۲- حسگر سنجش میدان مغناطیسی را مانند شکل (۴) بین قطعات مخروطی قطب مغناطیسی قرار دهید.

۳- میدان مغناطیسی را به‌صورت تابعی از جریان گذرنده از سیم‌پیچ‌ها ثبت کنید.



شکل ۴- طرحواره کالیبراسیون میدان مغناطیسی

ب- چرخش صفحه قطبش ϕ به‌صورت تابعی از میدان مغناطیسی B

۱- فیلتر با طول‌موج عبوری ۴۵۰ نانومتر (نور آبی) را در لغزاننده فیلتر (شیار مخصوص فیلتر) قرار دهیدو

۲- شیشه فلینت را بین قطعات مخروطی قطب مغناطیسی تنظیم کنید.

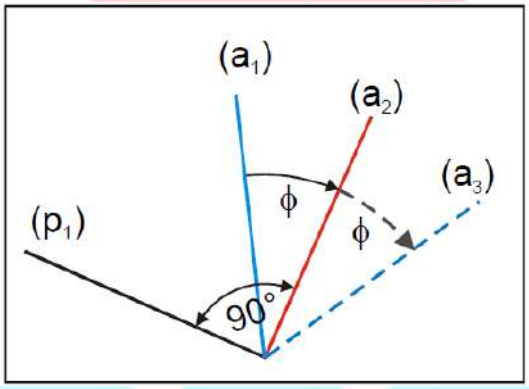
۳- آنالیزور را روی زاویه صفر درجه قرار دهید.

۴- شدت کمینه را با چرخش پلاریزور پیدا کنید.

توجه: برای تنظیم نهایی کمینه (تقریباً تاریک)، کمینه شدت نور می‌تواند به‌آسانی با نگاه کردن مستقیم به باریکه نور پشت عدسی تصویربرداری وارسی شود. پلاریزور و آنالیزور برای کمینه شدت تنظیم می‌شوند زیرا دستیابی به شدت کمینه آسان‌تر از دستیابی به شدت بیشینه است.

۵- جهت میدان مغناطیسی را بدون تغییر جریان معکوس کنید. برای انجام این‌کار میدان مغناطیسی را خاموش کنید، جهت جریان سیم‌پیچ‌ها را معکوس کنید. سپس، میدان مغناطیسی را روشن کنید.

توجه: هنگامی‌که جهت میدان معکوس می‌شود، دوبرابر زاویه چرخش، 2ϕ، اندازه‌گیری می‌شود (به شکل (۵) مراجعه شود).



شکل ۵- اندازه‌گیری دوبرابر زاویه چرخش، 2ϕ، با معکوس کردن جهت میدان مغناطیسی.

(ϕ): زاویه چرخش صفحه قطبش؛ (a_1): موقعیت آنالیزور در شروع؛ (a_2): صفحه قطبش نور پس از عبور از میان شیشه فلینت در هر دو آزمایش؛ (p_1): موقعیت پلاریزور برای تنظیم اولیه میدان مغناطیسی؛ (a_3): موقعیت آنالیزور پس از معکوس کردن جهت قطبش میدان مغناطیسی.

پ- ثابت وردت به‌صورت تابعی از طول‌موج

۱- یک فیلتر رنگی با طول‌موج مطلوب را در لغزاننده تصویر لامپ هالوژن قرار دهید.

۲- تار رتیکول را روی صفر تنظیم کنید.

۳- فیلتر را در مسیر باریکه قرار داده و میدان بیشینه را اعمال کنید.

۴- چرخش صفحه قطبش 2ϕ را طبق آن‌چه در بخش (ب) تشریح شد، اندازه‌گیری کنید.

۵- فیلتر رنگی را از مسیر باریکه خارج کرده و موقعیت تار رتیکول را بخوانید.

۶- آزمایش را برای دیگر فیلترهای رنگی تکرار کنید.

خواسته‌های آزمایش:

۱- طبق بند (الف) جدول (۱) را تکمیل کنید.

دکتر فاطمه دباغ کاشانی
دانشگاه علم و صنعت ایران

جدول(۱): مقدار چگالی شار مغناطیسی در جریان‌های مختلف گذرنده از سیم‌پیچ‌ها

$I(A)$	$B(mT)$
۱	
۲	
۳	
۴	
۵	
۶	
۷	
۸	
۹	
۱۰	

۲- نمودار B برحسب I را برای جدول (۱) رسم کنید. شیب خط نشان‌دهنده چیست؟

۳- زاویه چرخش صفحه قطبش 2ϕ برای طول‌موج ثابت ۴۵۰ نانومتر (آبی- بنفش) را به‌صورت تابعی از جریان و به تبع آن چگالی شار مغناطیسی اندازه‌گیری کرده و در جدول (۲) ثبت کنید.

۴- نمودار 2ϕ برحسب B برای جدول (۲) را رسم کنید. شیب خط را محاسبه کنید. با استفاده از شیب خط ضریب وردت را محاسبه کنید.

۵- زاویه چرخش صفحه قطبش 2ϕ را به‌صورت تابعی از طول‌موج که برای چگالی شار مغناطیسی بیشینه (۲۴۰ میلی‌تسلا) اندازه‌گیری کرده‌اید (برای طل‌موج‌های ۵۷۰ نانومتر (زرد)، ۵۱۵ نانومتر (آبی- سبز)، ۴۵۰ نانومتر (آبی- بنفش) و ۴۴۰ نانومتر (بنفش) در جدول (۳) ثبت کنید.

۶- نمودار 2ϕ برحسب طول‌موج برای جدول (۳) را رسم کنید. نمودار 2ϕ برحسب عکس طول‌موج را برای جدول (۳) رسم کنید. شیب خط را محاسبه کنید. آیا با استفاده از شیب خط اطلاعات مرتبط با پاشندگی فلینت قابل‌دستیابی است؟

جدول(۲): مقدار دو برابر چرخش صفحه قطبش، 2ϕ، در جریان‌های (چگالی شار مغناطیسی) مختلف

$I(A)$	$B(mT)$	2ϕ (°)
۱		
۲		
۳		
۴		
۵		
۶		
۷		
۸		
۹		
۱۰		

جدول(۳): مقدار دو برابر چرخش صفحه قطبش، 2ϕ، در طول‌موج‌های مختلف

رنگ عبوری	$\lambda(nm)$	2ϕ (°)
زرد		
آبی- سبز		
آبی- بنفش		
بنفش		

دکتر فاطمه دباغ کاشانی
دانشگاه علم و صنعت ایران