دانشگاه بیرجند

دستور کار

آزمایشگاه فیزیک حالت جامد ۱

تهیه و تنظیم:

دکتر رضا سرحدی، دکتر حمزه نخعی مطلق

آزمایش اثر فتورسانایی ۲
آزمایش رسانایی الکتریکی در جامدات ۸
آزمایش خواص مغناطیسی مواد ۱۵
آزمایش ترموالکتریک ۲۲
آزمایش پدیده فرومغناطیس در مدل آهنربا ۳۲
آزمایش پسماند مغناطیسی در هسته آهنی ۳۸
آزمایش اثر هال ٤۱

آزمایش اثر فتورسانایی

"Effect of photoconductivity"

ترسیم منحنی مشخصهٔ جریان- ولتاژ یک فتورزیستور (مقامت نوری) CdS

هدف آزمایش:

۱. اندازه‌گیری شدت نور جریان I_{ph} (photocurrent) برحسب تابعی از ولتاژ U در روشنائی ثابت ϕ

۲. اندازه گیری شدت نور جریان I_{ph} برحسب تابعی از روشنائی ϕ در ولتاژ ثابت U

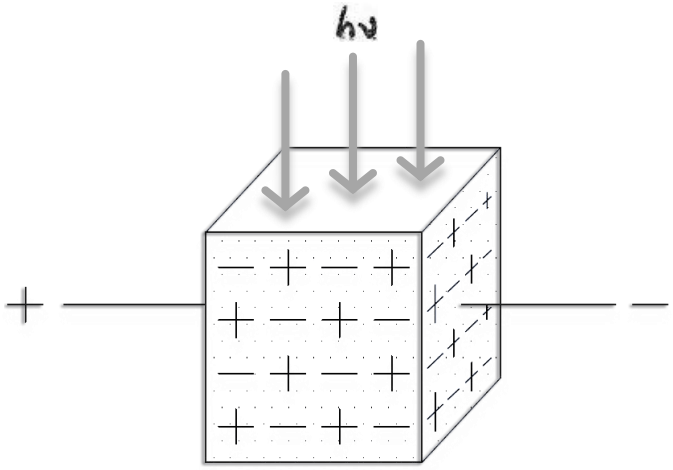
وسائل آزمایش:

فتورزیستور، شکاف متغیر، میزچه اپتیکی ۲ عدد، پایه V شکل بزرگ ۲ عدد، گیره مدرج، پلاریزور و آنالیزور مدرج(۲ دستگاه)، نورافکن با منبع تغذیه مربوطه ، عدسی با فاصله کانونی $f = ۱۰۰\,mm$ با نگهدارنده، منشور ۶۰ درجه با میزچه نگهدارنده، گیره چند منظوره ۷ عدد، میکروآمپرمتر، منبع تغذیه ۲۰۰-۰ ولت DC با ولت سنج، سیم رابط معمولی ۷عدد (۱۰۰cm)

ملاحظات نظری:

نور رسانشی عبارتست از افزایش رسانش الکتریکی σ در یک جسم جامد در اثر جذب نور. وقتی گفته می‌شود که تأثیر داخلی نور صورت گرفته است، انرژی جذب شده موجب انتقال الکترون‌های فعال به باند هدایت و تعویض بار تله‌ها با حفره‌ها در باند ظرفیت صورت می‌گیرد بنابراین تعداد حامل‌های بار در شبکه بلور افزایش و در نتیجه هدایت تغییر می‌کند:

۱. $\Delta\sigma = \Delta p\, e\mu_p + \Delta n\, e\mu_n$ که در آن:



e بار الکتریکی الکترون

Δp تغییر در تراکم حفره‌ها

Δn تغییر در تراکم الکترون‌ها

μ_p تحرک حفره‌ها

μ_n تحرک الکترون‌ها می‌باشد.

در اثر اعمال ولتاژ U، شدت نور جریان عبارت می‌شود از:

$$I_{ph} = \frac{A}{d}\Delta\sigma U \quad .۲$$

که A مقطع مؤثر مسیر جریان و d فاصله بین الکترودهاست.

آن دسته از مقاومت‌های نیمه هادی که به تابش نور وابسته هستند (Photoconductive cells) بر این قاعده مستقرند. این گونه مقاومت‌ها کاربردهای فراوانی داشته و از آن جمله در کلیدهای سحرگاهی (روشن کردن چراغ‌های خیابان‌ها در عصر هنگام و خاموش نمودن آن‌ها در سحرگاه) و نورسنج‌ها بکار گرفته می‌شوند. مواد نیمه هادی که معمولاً بکار گرفته می‌شود ترکیبات کادمیم و بویژه کادمیم سولفاید CdS می‌باشد.

در این آزمایش یک مقاومت نوری (Photoresistor) CdS در تابش نور یک لامپ قرار می‌گیرد. روشنائی ϕ در محل قرار گرفتن مقاومت مزبور با استفاده از دو عدد قطبشگر (Polarizer) که پشت سر هم قرار می‌گیرند تغییر داده می‌شود. هرگاه صفحه قطبش قطبشگرها نسبت به یکدیگر باندازهٔ زاویه θ دوران داده شود. طبق قانون مالوس روشنائی از رابطهٔ:

$$\phi = \phi_{\circ}\, D\, Cos^{2}\theta \quad .۳$$

بدست می‌آید که در آن:

$\phi_{\circ}$= روشنائی بدون وجود قطبشگرها

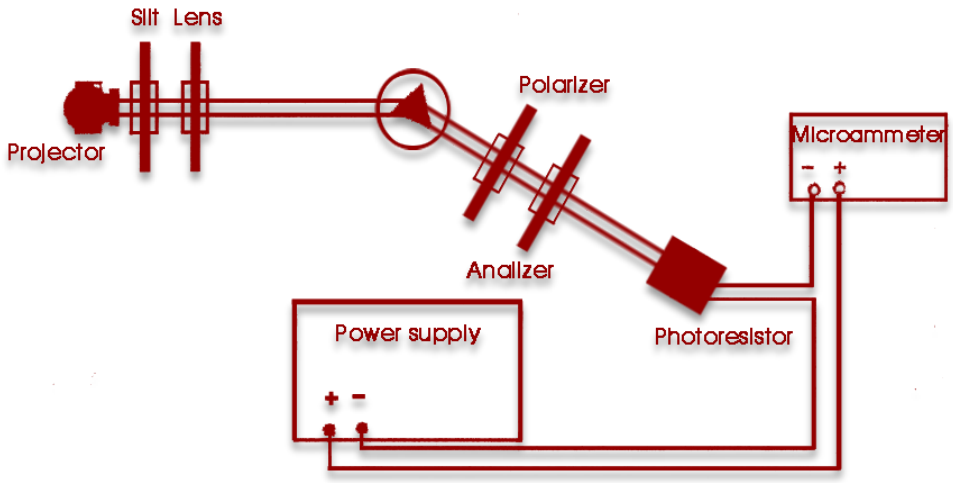
D= ضریب عبور دهی وقتی که محور قطبشگرها موازی هستند می‌باشد.

نور جریانی برحسب تابعی از ولتاژ اعمال‌شده به مقاومت نوری در روشنائی ثابت (مشخصه جریان- ولتاژ) و نیز بصورت تابعی از روشنائی در ولتاژ ثابت (مشخصه جریان- روشنائی) مورد مطالعه قرار می گیرد.

روش آزمایش: وضعیت قرار گرفتن وسائل آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. میزچه‌های اپتیکی را توسط گیره مدرج به یکدیگر بسته شده و نورافکن را توسط گیره چندمنظوره به انتهای یکی از میزچه‌های اپتیکی نصب و پس از آن شکاف متغیر و عدسی را قرار دهید. پایه نگهدارندهٔ منشور را درون سوراخ گیره مدرج قرار داده و با پیچ زیر گیرهٔ مدرج، آنرا محکم نمایید. قطبشگرهای پلاریزور و آنالیزور را پس از گیره مدرج و پشت سر هم توسط گیره‌های چند منظوره روی میزچه اپتیکی دوم ببندید و در انتهای میزچه اپتیکی دوم، فتورزیستور را که درون محفظه‌اش قرار دارد نصب نمائید.

منبع تغذیه را به برق شهر وصل و روشن کنید؛ پس از صفر کردن ولتاژ آن، کلید آن را در حالت خاموش قرار دهید. توسط سیم‌های رابط و سیم BNC خروجی منبع تغذیه را به فتورزیستور متصل نمائید و میکروآمپرمتر را بطور سری در مدار آن قرار دهید.

نورافکن را به منبع تغذیه مربوطه متصل نموده و روشن کنید تا نور آن پس از عبور از شکاف متغیر به منشور بتابد و طیف نور سفید تشکیل گردد. میزچه اپتیکی دوم را حول گیره مدرج آنقدر بچرخانید تا طیف مزبور بر روی مقاومت نوری بیفتد، عدسی را روی میزچه اپتیکی جابجا کنید تا تصویر واضحی از طیف تشکیل شده، بر روی فتورزیستور ظاهر شود.



شکل 1- وضعیت قرار گرفتن وسایل آزمایش بر روی میزچه های اپتیکی

زوایای محورهای پلاریزور و آنالیزور را صفر کنید. با تنظیم میزچه اپتیکی دوم، طول موج مورد نظر را برای مرکز شکاف متغیر واقع در دهانه محفظه فتورزیستور انتخاب نمائید.

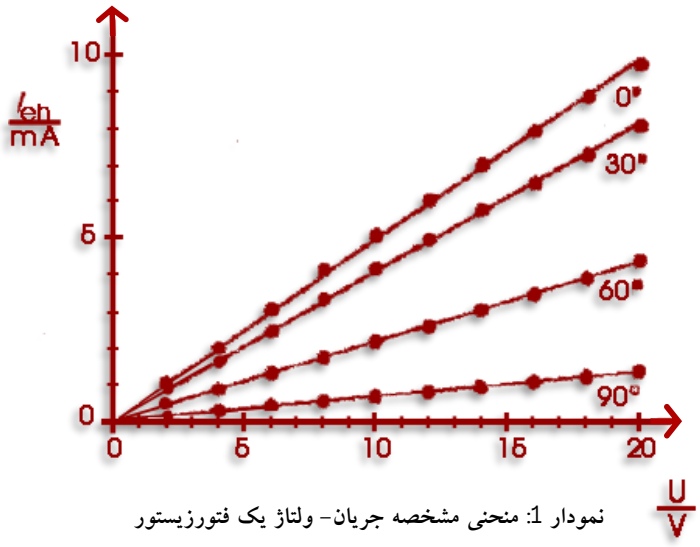
آزمایش ۱: اندازه‌گیری نور جریان (Photocurrent) I_{ph} برحسب تابعی از ولتاژ **U** در روشنائی ثابت ϕ

ولتاژ منبع تغذیه را روی۲۰ولت تنظیم نمایید و شدت جریان میلی آمپر I_{ph} را قرائت کنید با کاهش ولتاژمنبع تغذیه بصورت پله‌های ۲ ولتی، هر بار I_{ph} را اندازه‌گیری و ثبت نمائید.

جدول ۱

اندازه‌گیری	U(V)	$I_{ph}(mA)$	اندازه‌گیری	U(V)	$I_{ph}(mA)$
۱	۲۰		۸	۶	
۲	۱۸		۹	۴	
۳	۱۶		۱۰	۲	
۴	۱۴		۱۱	۰	
۵	۱۲				
۶	۱۰				
۷	۸				

اندازه‌گیری فوق را برای حالاتی که زاویه بین محورهای نوری پلاریزور و آنالیزور را صفر، ۳۰°، ۶۰°، ۹۰° انتخاب می‌کنید تکرار نمائید و منحنی‌های تغییرات I_{ph} برحسب **U** را در یک دستگاه مختصات ترسیم نمایند.



نمودار 1: منحنی مشخصه جریان- ولتاژ یک فتورزیستور

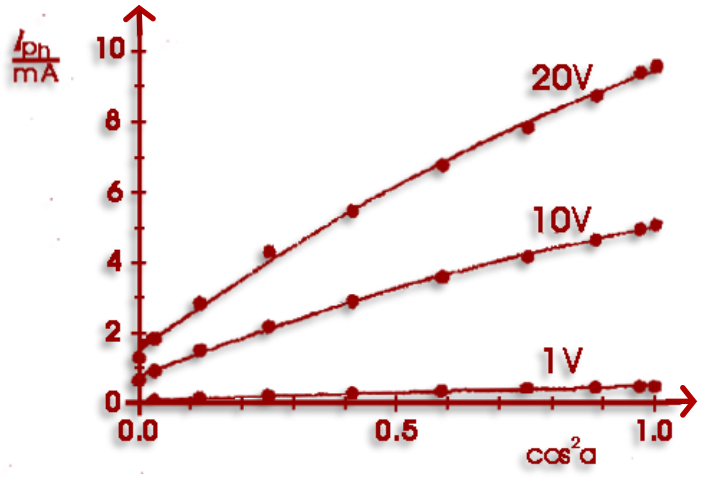
آزمایش ۲: اندازه‌گیری نور جریان I_{ph} برحسب تابعی از روشنائی در ولتاژ ثابت **U**:

میزچه اپتیکی دوم را در زاویه‌ای قرار دهید که محدودهٔ طول موج مورد نظر شما (مثلاً رنگ قرمز) در شکاف محفظه مقاومت نوری قرار گیرد، ولتاژ منبع تغذیه را بطور دلخواه انتخاب کنید (مثلاً ۱ ولت) و در حالیکه زاویه بین پلاریزور و آنالیزور را از صفر تا ۹۰ درجه تغییر می‌دهید به ازاء هر ۵ درجه، شدت جریان میکروآمپرمتر θ را قرائت و یادداشت نمائید.

جدول ۲

$V=1$							
θ°	$I_{ph}(mA)$	θ°	$I_{ph}(mA)$	θ°	$I_{ph}(mA)$	θ°	$I_{ph}(mA)$
۰		۳۰		۶۰		۹۰	
۵		۳۵		۶۵		۹۵	
۱۰		۴۰		۷۰		۱۰۰	
۱۵		۴۵		۷۵			
۲۰		۵۰		۸۰			
۲۵		۵۵		۸۵			

منحنی تغییرات I_{ph} را برحسب $Cos^{۲}\theta$ رسم کنید. مقدار ولتاژ را تغییر دهید و به ازاء ولتاژهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ ولت و غیره آزمایش را تکرار و منحنی I_{ph} برحسب $Cos^{۲}\theta$ را به ازاء هر یک از ولتاژها رسم نمائید.



نمودار 2: منحنی مشخصه جریان- روشنایی یک فتورزیستور

آزمایش ۳: آزمایش ۲ را به ازاء سایر محدودهٔ طول موج‌های نور سفید (مثلاً سبز، آبی و بنفش) تکرار نمائید و منحنی‌های بدست آمده را با یکدیگر مقایسه کنید.

آزمایش رسانایی الکتریکی در جامدات

"electrical conductivity in solids"

هدف آزمایش: اندازه‌گیری مقاومت فلزی نوبل و نیمه هادی بصورت تابعی از دما و تعیین ضریب گرمائی هر یک در محدوده‌های دمائی مختلف

وسائل آزمایش: مقاومت فلزی نوبل، مقاومت نیمه هادی، پل تار ویژه، محفظه نگهدارنده باطری با گالوانومتر، مقاومت ۱کیلو اهم،مقاومت ۱۰۰اهم با نگهدارنده، کوره الکتریکی، دیمرو دماسنج دیجیتال، کلید مورس و سیم رابط معمولی ۷عدد (۱۰۰cm).

ملاحظات نظری: مقاومت الکتریکی فلزات تابعی از دما هستند بطوریکه می‌توان یک رابطه خطی بین مقاومت آنها و دمای مربوطه (حداقل در محدودهٔ وسیعی از دما) بصورت زیر نوشت:

$$R(\theta) = R(0)\,(1+\alpha\theta)$$

که در آن $R(0)$ مقاومت فلز در دمای صفر سلسیوس، θ دما برحسب درجه سلسیوس و α مقدار ثابتی است که ضریب گرمائی مقاومت آن فلز نامیده می‌شود.

ضریب گرمائی α در مورد فلزات نجیب مانند طلا و پلاتین ثابت و در مورد سایر فلزات بستگی اندکی به دما دارد، لیکن درخصوص مواد نیمرسانا بستگی آن به دما بسیار شدید است. در این آزمایش با رسم منحنی تغییرات مقاومت فلزی نوبل و یک مقاومت نیمه هادی، بر حب دما، ضمن مشاهدهٔ وابستگی α به دما در هر یک و اندازه‌گیری α در دماهای مختلف برای آنها، اختلاف این مواد را ملاحظه خواهیم نمود. البته مواد نیمرسانا می‌توانند از نوع NTC (Negative thermal coefficient) و یا PTC (Positive thermal coefficient) باشند که اولی ضریب گرمائی منفی داشته و مقاومت آن با افزایش دما کاهش می‌یابد در حالیکه دومی ضریب گرمائی مثبت داشته و مقاومت آن با افزایش دما افزایش پیدا می‌کند. و هر یک از آنها بنوبه خود موارد استفادهٔ مهمی در صنعت، دستگاه‌های الکترونیکی و کنترل دما دارند.

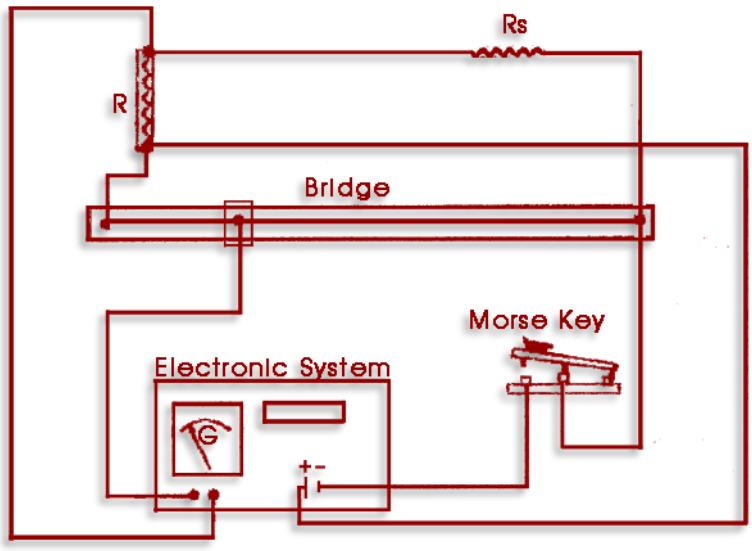
روش آزمایش: این آزمایش می‌تواند بین دماهای $-۵۰^{\circ C}$ تا $+۲۰۰^{\circ C}$ صورت گیرد که برای دماهای بالای دمای اتاق از کوره الکتریکی استفاده می‌شود برای دماهای زیر صفر سلسیوس می‌توان از روش‌های گوناگون تبرید استفاده نمود که ذیلاً عنوان خواهد شد.

آزمایش ۱: اندازه‌گیری مقاومت فلزی نوبل در دمای اتاق و بالاتر از آن:

مجموعه مقاومت فلزی نوبل را درون کوره الکتریکی جای دهید و سیم حس‌گر دما را به پشت منبع تغذیه مربوط به کوره که مجهز به دیمر جهت تغییر ولتاژ کوره و ترموستات و دماسنج دیجیتال است به محل تعبیه شده متصل و قطعه حساس حس‌گر را از سوراخ پشت کوره وارد و پس از عبور دادن از سوراخ مرکزی مجموعه مقاومت آن را در نزدیکی مقاومت تثبیت نمائید.

پیچ ولتاژ دیمر را به حداقل برده و سیم‌های رابط کوره را به منبع تغذیه کوره وصل و منبع تغذیه مزبور را به برق شهر متصل نمائید.

مدار پل‌تار را مطابق شکل ایجاد نمائید.

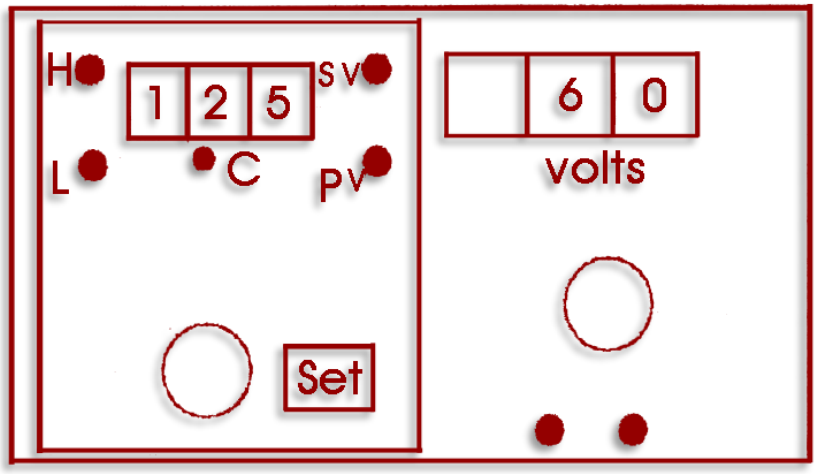


شکل 2: مدار پل تار

باطری‌ها را در محفظه مربوطه قرار دهید و مطابق شکل با کلید مورس سری کرده به دوسر پل تار ببندید

ازمقاومت $R_S = ۱۰۰$ اهم به عنوان مقاومت معلوم استفاده کنید.

دمای اطراف مقاومت را به کمک دماسنج دیجیتال قرائت و یادداشت نمائید، کلید مورس را بطور لحظه‌ای متصل و لغزنده پل‌تار را در محلی قرار دهید که جریان گالوانومتر صفر شود (علت استفادهٔ لحظه‌ای از کلید مورس اینست که نباید در اثر عبور جریان مداوم از مقاومت مورد آزمایش، گرما ایجاد شده و دمای آن تغییرکند مخصوصاً در مورد مقاومت نیمرسانا این مسئله بسیار مهم است)



شکل 3

در این حالت طول‌های L_1 و L_2 را از روی پل‌تار قرائت و یادداشت نمائید.

دکمه set را در روی ترموستات فشار دهید تا چراغ sv روشن شود با پیچاندن دکمه تنظیم دما، آن را روی $۳۵^{\circ C}$ قرار دهید و مجدداً دکمه set را فشار دهید تا چراغ pv روشن و چراغ sv خاموش شود. در این حالت دماسنج دمای درون کوره را قرائت می‌کند.

دمای θ_1 را قرائت و همراه با بقیه مقادیر در جدولی مانند جدول زیر، یادداشت نمائید:

جدول 3

دفعات اندازه‌گیری	$\theta(\circ c)$	$L_2(cm)$	$L_2(cm)$	$Rs(\Omega)$	$R = Rs\frac{L2}{L1}$
۱	۲۳	۵۱	۴۹	۱۰۰	
۲	۳۵				
۳	۴۵				
۴	۵۵				
۵	۰				
۶	۰				

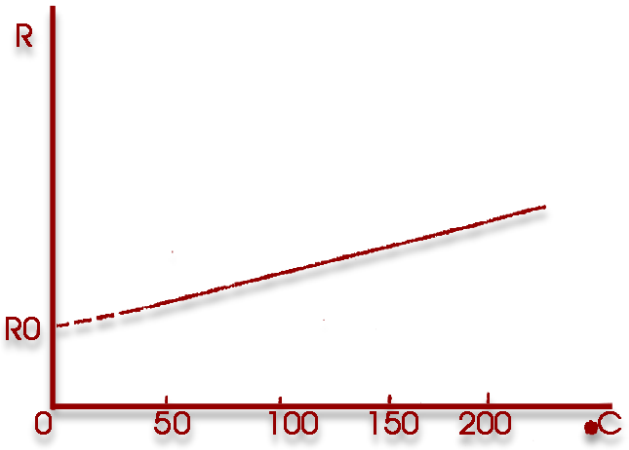
در این حالت چراغ High در روی ترموستات روشن شده است. پیچ ولتاژ دیمر را در جهت عقربه‌های ساعت بچرخانید تا به ولتاژ بیش از ۶۰v برسد آنگاه آن را کاهش دهید و بر روی ۴۰ ولت تنظیم نمائید. در این هنگام کوره الکتریکی شروع به گرم شدن می‌کند و ترموستات آن را در $^{\circ C}$۳۵ قطع نموده و چراغ Low روشن خواهد شد که نشان‌دهندهٔ قطع شدن کوره از برق شهر است) قدری صبر کنید تا دمای مقاومت یکنواخت و عدد دما بر روی دماسنج دیجیتال ثابت گردد.

در این لحظه با استفاده از کلید مورس و جابجا کردن لغزنده پل‌تار جریان گالوانومتر را صفر نموده و ضمن قرائت دمای θ_2، طول‌های L_1 و L_2 را اندازه‌گیری و در جدول ثبت نمائید.

حال با فشار دادن دکمه set و روشن شدن چراغ sv دمای مورد نظر را مثلاً $^{\circ C}$٤٥ انتخاب نموده دکمه set را فشار دهید تا با روشن شدن چراغ pv دمای کوره قرائت شود. دیمر را تغییر دهید تا ولتاژ اعمال‌شده به کوره حدود ۶۰v گردد. صبر کنید تا ترموستات کوره را قطع و دمای کوره یکنواخت گردد. مجدداً با استفاده از کلید مورس

و لغزنده جریان گالوانمتر را صفر کرده و ضمن قرائت دمای θ_2، طول‌های L_1 و L_2 را اندازه‌گیری و در جدول ثبت کنید.

عملیات فوق را تکرار کنید تا در نهایت به دمای حدود $200^{\circ}C$ برسید با استفاده از اعداد جدول، R را به ازاء هر دمای θ محاسبه و منحنی R را برحسب θ ترسیم کنید.



نمودار 3

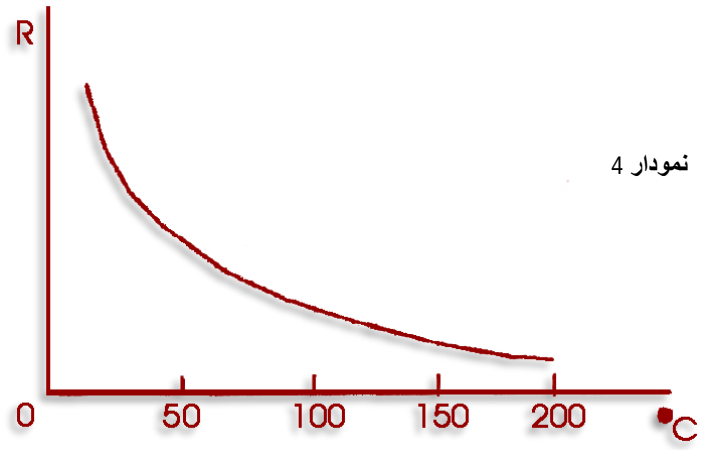
ملاحظه خواهید نمود که منحنی بصورت خط مستقیم حاصل می‌شود. ضریب زاویه آن $aR(0)$ و عرض از مبداء آن $R(0)$ است. با استفاده از این منحنی ضریب گرمائی مقاومت a و مقاومت دمای صفر سلسیونس فلز $R(0)$ را محاسبه کنید.

آزمایش ۲: اندازه‌گیری مقاومت یک نیمه هادی در دمای اتاق و بالاتر:

مقاومت فلزی نوبل را از کوره خارج کنید (به کمک دستکش نسوز و یا وسیله دیگری که منجر به سوختگی دست شما نشود و آن را طوری قرار دهید تا به میز آزمایشگاه صدمه نزند زیرا اگر قبلاً با آن کار کرده‌اید ممکن است دمائی آن بالا و حدود $200^{\circ}C$ باشد) و به جای آن مجموعه مقاومت نیمه هادی را قرار دهید و حس‌گر دما را از سوراخ پشت کوره درون سوراخ مرکزی مجموعه مقاومت نموده و در نزدیکی مقاومت نیمرسانا تثبیت کنید. اگر کوره قبلاً گرم شده است پیچ دیمر را صفر کنید و در حالیکه دمای کوره کاهش می‌یابد آزمایش را به روش

قبلی دنبال کنید و به ازاء دماهای دلخواه θ با استفاده از کلید مورس و لغزنده پل‌تار، جریان گالوانومتر، را صفر نموده و طول‌های L_1 و L_2 را اندازه‌گیری و در جدول ثبت کنید.

منحنی تغییرات مقاومت را با دما ترسیم نمائید.



نمودار 4

ممکن است مقاومت نیمه هادی در دمای اتاق ($25^{\circ}C$) بیش از 1000Ω باشد و در صورت بردن آن به دماهای زیر صفر، تا بیش از $15K\Omega$ افزایش یابد لذا در صورت نیاز، Log R را برحسب دمای θ رسم کنید.

توجه: در صورتیکه مایل باشید آزمایش را برای دماهای پائین‌تر از صفر سلسیوس انجام دهید از طریق زیر استفاده نمائید.

روش الف– مقداری ازت مایع درون یک فلاسک یا کالریمتر بریزید و مجموعهٔ مقاومت را همراه با حس‌گر دمای آن در بالای کالریمتر بیاویزید و با دور نمودن یا نزدیک کردن آن به سطح ازت مایع به دماهای بالاتر و یا پائین‌تر دست یابید حس‌گر دما تا $-50^{\circ}C$ قادر به قرائت دقیق دما می‌باشد برای دماهای پائین‌تر از دماسنج مناسب استفاده کنید.

روش ب– درون یک ظرف مناسب که در ته آن سوراخی برای خارج شدن مایع وجود داشته باشد مقداری یخ خورد شده که با نمک مخلوط نموده‌اید بریزید و درون آن یک استوانه فلزی که مجموعهٔ مقاومت را درون آن قرار داده و از بدنه عایق نموده‌اید قرار دهید و با قرائت دما و اندازه‌گیری‌های مربوطه مقدار مقاومت را محاسبه کنید.

شکل 4

آزمایش خواص مغناطیسی مواد

هدف آزمایش: بررسی خواص مغناطیسی مواد و شناسائی مواد پارامغناطیس، دیامغناطیس و فرومغناطیس و رفتار آنها در میدان مغناطیسی ناهمگن

وسایل آزمایش: میله‌های مغناطیسی ۳ عدد (پارا، دیا و فرومغناطیس) با نگهدارنده، الکترومنگنت ۰/۶ تسلا، منبع تغذیه DC ۱۰A-۰و ۲۰V-۰، نورافکن با منبع تغذیه مربوطه، عدسی $f = ۱۰۰mm$ با نگهدارنده، پایه V شکل بزرگ، پردهٔ مات، پایه ساده ۳ عدد، میله ۲ عدد، گیره چند منظوره، سیم رابط معمولی ۲عدد (۱۰۰cm) ، سیم رابط معمولی ۱عدد (۵۰cm)

ملاحظات نظری:

میدان مغناطیسی در مواد مغناطیسی: فرض کنید یک جسم همگن با حجم V در میدان مغناطیسی یکنواخت با شدت H و القاء $B_0 = \mu_0 H$ قرار داده‌ایم. در اثر میدان، جسم مغناطیده شده و دارای گشتاور مغناطیسی M می‌گردد. نسبت گشتاور مغناطیسی به حجم جسم را مغناطیدگی J_m می‌نامند.

$$J_m = \frac{M}{V} \qquad (۱)$$

و وقتی که مغناطیدگی همگن نباشد برابر است با:

$$J_m = \frac{dM}{dV} \qquad (۲)$$

مغناطیدگی یک بردار است، در اجسام مغناطیسی همگن، $\vec{J}_m$ یا موازی و یا ضد موازی با $\vec{H}$ است. واحد گشتاور مغناطیسی در دستگاه SI، آمپر- مترمربع و مغناطیدگی آمپر بر متر است.

نسبت مغناطیدگی J_m به شدت میدان مغناطیسی H را پذیرش مغناطیسی X (Magnetic susceptibility) می‌نامن

$$x = \frac{J_m}{H} \qquad (۳)$$

بسادگی می‌توان دید که **X** کمیتی فاقد بعد می‌باشد و داریم:

$$J_m = Hx \qquad (۴)$$

یک جسم مغناطیده که در میدان مغناطیسی خارج قرار گرفته باشد میدان ذاتی خود را، صرفنظر از مرزهای خارجی خود، در جهت موازی و یا ضد موازی با میدان خارجی ظاهر می‌سازد.

اگر شدت القاء خارجی را با B_0، میدان القائی را با $B_۱$ و میدان برآیند را با **B** نمایش دهیم.

برای مواد مغناطیسی همگن **B** از جمع جبری B_0 و $B_۱$ حاصل می‌شود:

$$B = B_0 + B_۱ \qquad (۵)$$

آزمایشات نشان می‌دهد که:

$$B_1 = \mu_0 J_m = xB_0 \qquad (۶)$$

که در نتیجه:

$$B = B_0(۱ + x) = \mu B_0 = \mu\mu_0 H \qquad (۷)$$

که $\mu = ۱ + x$ گذردهی مغناطیسی می‌باشد.

واحد شدت میدان مغناطیسی **H** در دستگاه واحدهای **SI** آمپر بر متر و واحد القاء مغناطیسی **B** تسلا (**T**) می‌باشد.

خواص مغناطیسی جامدات: کلیه مواد را با توجه به قدر مطلق و علامت پذیرش مغناطیسی آنها می‌توان به سه گروه بزرگ دیا مغناطیس‌ها، پارا مغناطیس‌ها و فرو مغناطیس‌ها طبقه بندی نمود. جدول ۴

جدول 4

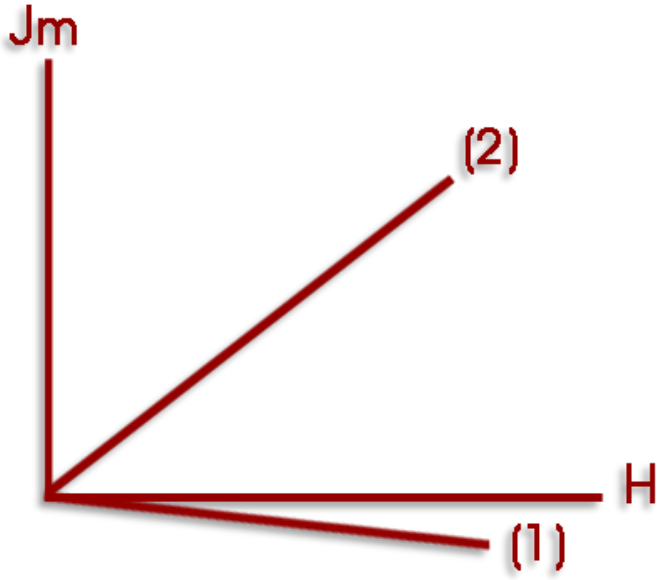
X فرو مغناطیس‌ها		X پارا مغناطیس‌ها		$x=(\mu-1)$ دیا مغناطیس‌ها	
Fe	۱۰۰۰	CaO	۵۸۰×۱۰^{-۶}	Bi	-۱۸×۱۰^{-۶}
Ni	۱۵۰	$FeCl_۲$	۳۶۰×۱۰^{-۶}	Cu	$-۰/۹\times۱۰^{-۶}$
Co	۲۴۰	$NiSo_۴$	۲۶×۱۰^{-۶}	Ge	$-۰/۸\times۱۰^{-۶}$
		Pt	۲۶×۱۰^{-۵}	Si	$-۰/۳\times۱۰^{-۶}$
		Al	$۲/۲\times۱۰^{-۵}$		

دیامغناطیس‌ها و پارا مغناطیس‌ها:

برای دیا مغناطیس‌ها ($|x|\langle 1$) و x منفی و مستقل از شدت میدان مغاطیسی خارجی و دما است. اینگونه مواد در خلاف جهت میدان خارجی مغناطیده می‌شوند و به همین علت از منطقه قویتر میدان خارجی به بیرون رانده می‌شوند.

پارا مغناطیس‌ها نیز دارای $|x|\langle 1$ هستند، لیکن برخلاف دیا مغناطیس‌ها x مثبت است.

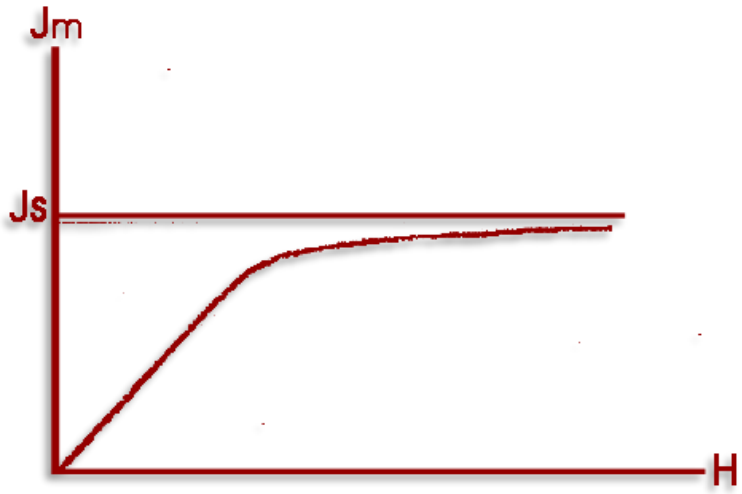
چنین اجسامی در جهت میدان خارجی مغناطیده شده و بداخل مناطقی که H بیشینه است کشیده می‌شوند. شکل (۱a) وابستگی J_m به شدت میدان را برای دیا مغناطیس‌ها (منحنی ۱) و برای پارا مغناطیس‌ها (منحنی ۲) نشان می‌دهد.



شکل 5: شکل 1a

در هر دو حالت J_m با H متناسب است که نشان‌دهنده مستقل بودن X از H می‌باشد. در عین حال برای پارا مغناطیس‌ها این امر فقط برای میدان‌های ضعیف و دماهای بالا صادق است. در میدان‌های قوی و دماهای پائین منحنی $J_m(H)$ با یک مقدار حدی J_s مجانب می گردد، شکل (1b)، که نشانهٔ اشباع مغناطیسی مادهٔ پارا مغناطیس است. ضمناً X اجسام پارا مغناطیس به دما وابسته است. این وابستگی اولین بار توسط پیر کوری (Pierre Curie) مورد مطالعه قرار گرفته. او نشان داد که

$$x = \frac{C}{T} \qquad (۸)$$



شکل 6: شکل 1b

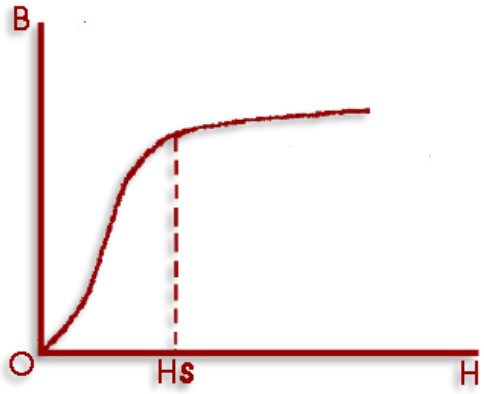
Tدمای مطلق ماده پارا مغناطیس و C مقدار ثابتی است که به طبیعت آن ماده بستگی دارد و ثابت کوری (Curie Constant) نامیده می‌شود، و رابطه اخیر به قانون کوری مشهور است.

فرو مغناطیس‌ها:

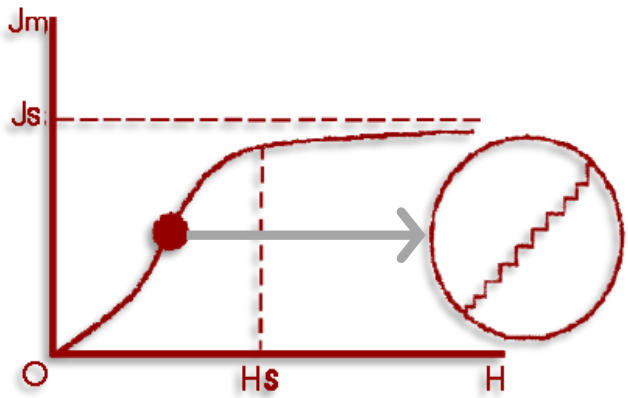
مواد فرو مغناطیس که معروف‌ترین آنها آهن است دارای x مثبت بوده که به مراتب از x پارا مغناطیس‌ها می‌باشد. ضمناً، x وابسته به H است.

این گروه علاوه بر آهن، شامل نیکل، کبالت، گادولینیوم، دیسپروسیم، هُلمیم، اِربیم و برخی آلیاژهاست.

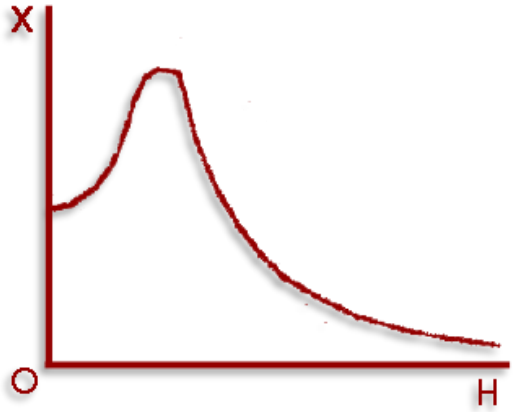
۸قاعده حاکم بر مغناطیدگی اولین بار توسط فیزیکدان روسی استولِتف A.G. Stoletov کشف گردید. شکل (۲a) ارتباط القاء مغناطیسی B و شکل (۲b) ارتباط مغناطیدگی J_m و شکل (۲c) ارتباط پذیرش مغناطیسی x را با H برای آهن نرم نشان می‌دهد.



شکل 9: شکل 2a



شکل ۸: شکل ۲b



شکل ۷: شکل۲c

B و J_m ابتدا با اضافه شدن میدان مغناطیسی به سرعت افزایش می‌یابند لیکن سرعت افزایش آنها کاهش یافته در یک H_s در حوالی مقدار بیشینه J_s متوقف می‌گردد. هرگونه افزایش اضافی دیگر مربوط به افزایش H است. این حالت نشان‌دهندهٔ اشباع تکنیکی فرو مغناطیس است زیرا در این حالت x به صفر میل می‌کند.

مطالعه دقیق منحنی مغناطیدگی نشان می‌دهد بتدریج که H اضافه می‌شود، J_m بصورت پیوسته افزایش نمی‌یابد بلکه به صورت پله‌ای زیاد می‌شود. [به شکل (۲a) نگاه کنید به قسمتی از منحنی b که در دایره بزرگ شده است دقت نمائید]. این امر مخصوصاً در منطقه‌ای که شیب منحنی مغناطیدگی بیشتر است بهتر ظاهر می‌گردد. این بخش از منحنی تعداد زیادی پله را شامل می‌شود که هر یک پرش‌های مربوطه به تغییات J_m را با افزایش پیوسته H بیان می‌نماید. این طبیعت پله‌وار فرآیند مغناطیدگی اول بار بوسیله "هنریش بارک هاوزِن" "Heinrich Barkhausen" کشف شد و اثر بارک هاوزِن نام گرفت.

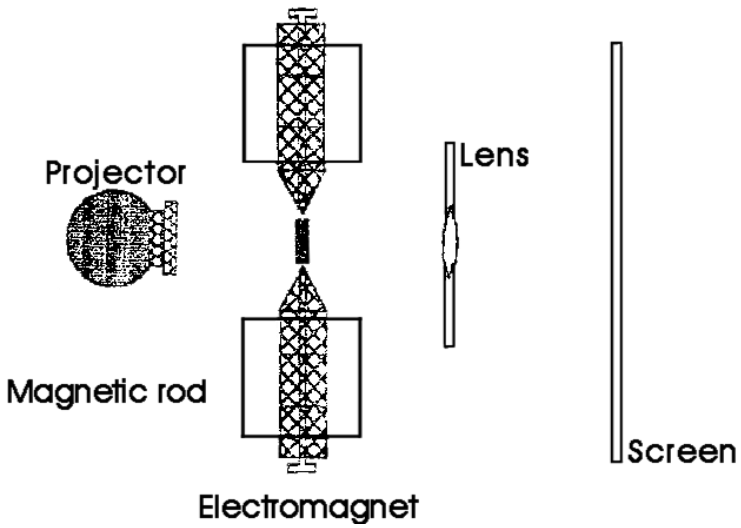
روش آزمایش:

۱- سه قطعه میلهٔ مغناطیسی را که طول هر یک حدود یک سانتیمتر است بردارید و به وسط هر یک نخی بسیار نازک به طول تقریبی ۱۵ سانتیمتر ببندید تا بتوان میله‌ها را آویزان نمود.

قطب‌های مخروطی الکترومگنت را طوری نصب کنید که بین نوک‌های تیز آنها حدود ۱۲ میلیمتر فاصله باشد تا بتوان میله‌های مغناطیسی را بین آنها قرار داد.

میله‌ای را درون سه پایه محکم کنید و به کمک گیره چندمنظوره میله دیگری را عمود بر آن نصب و نگهدارندهٔ میله‌های مغناطیسی را به انتهای آن ببندید. نخ یکی از میله‌های مغناطیسی را از حلقه نگهدارنده بگذرانید و محکم کنید.

الکترومگنت را روی میز قرار داده و نورافکن را پشت آن و عدسی با فاصله کانونی ۱۰۰mm را جلو آن و پردهٔ مات را بعد از آن نصب کنید. مطابق شکل



شکل ۱۰

پرده و عدسی را جابجا کنید بطوریکه پس از روشن کردن نورافکن که نور آن به قطب‌های آهنربا می‌تابد، تصویر واضحی از قطب‌های آهنربای الکتریکی روی پرده ظاهر گردد.

یکی از میله‌های مغناطیسی را بین قطب‌های الکترومگنت آویزان کنید و به کمک نگهدارنده و چرخانیدن قلاب ترتیبی دهید که میله در امتداد قطب‌های آهنربا قرار گیرد و تصویر آن روی پرده ظاهر گردد.

الکترومگنت را به منبع تغذیه متصل کنید و جریانی از آن بگذرانید.

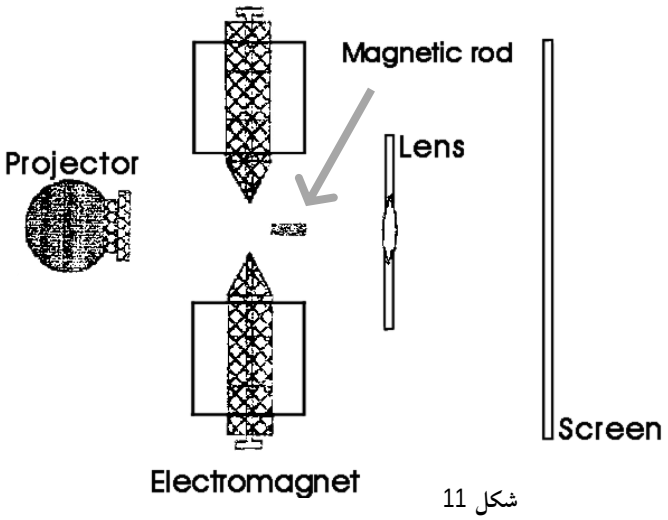
نتیجه مشاهدات:

اگر میله مغناطیسی دیا مغناطیس باشد، دوران کرده، و در امتداد عمود بر امتداد قطب‌های آهنربا قرار می‌گیرد همچنین از بین قطب‌ها به بیرون حرکت می‌نماید.

اگر میله مغناطیسی پارا مغناطیس باشد، به آهستگی حرکت کرده و ضمن اینکه در امتداد قطب‌ها قرار می‌گیرد، به یکی از قطب‌های چسبیده اگر میله مغناطیسی از نوع فرو مغناطیس باشد، به شدت حرکت کرده و ضمن اینکه در امتداد قطب‌ها قرار می‌گیرد، با نیروی زیادی به یکی از قطب‌ها که به آن نزدیک‌تر است می‌چسبد.

۲- جریان الکترومگنت را صفر کنید و آنرا به موازات خود بطرف عقب بکشید.

بطوریکه از میلهٔ مغناطیسی آویخته شده حدود ۳ سانتیمتر فاصله بگیرد. مطابق شکل میلهٔ پارامغناطیس را ۹۰° بچرخانید بطوریکه در امتداد عمود بر امتداد قطب‌های الکترومگنت قرار گیرد.



شکل 11

حال جریان الکترومگنت را برقرار کنید ملاحظه خواهید کرد که میله مغناطیسی قدری به طرف الکترومگنت حرکت نموده و حول نخ نوساناتی با فرکانس کم انجام خواهد داد که علت آن وجود اینرسی دورانی میله و گشتاور نیروی مغناطیسی وارد بر آن که از رابطهٔ $\tau^{\rightarrow} = \mu^{\rightarrow} \times \mathrm{B}^{\rightarrow}$ بدست می‌آید، $\mu^{\rightarrow}$ گشتاور مغناطیسی میله است که به علت کوچک بودن آن، گشتاور نیرو نیز کوچک و لذا نوسانات با فرکانس کم صورت می‌گیرد.

حال به جای میله پارا مغناطیس، میلهٔ فرو مغناطیس را قرار دهید و همین آزمایش را تکرار کنید، با توجه به وضعیت حرکت میله (انتقالی و نوسانی) علت را تشریح کنید

اکنون همین آزمایش را با میله دیا مغناطیسی تکرار و نتیجه را توضیح دهید

آزمایش ترموالکتریک

هدف آزمایش:

مطالعه ترموالکتریک (اثر سیبک Seebeck و اثر پلتیر Peltier) مدرج کردن ترموکوپل‌ها.

مگنت ترموالکتریک، ترموکوپل با عربه مغناطیسی.

وسایل آزمایش:

ترموکوپل‌های(مس- کنستانتان، آهن- کنستانتان، کرم نیکل- کنستانتان)، ترموکوپل با عقربه مغناطیسی، مگنت ترموالکتریک، ترمومتر (۲ عدد)، چراغ بنزن، سه پایه ، توری نسوز، جک آزمایشگاهی، بشر ۴۰۰ml(۲عدد)، پایه Vشکل بزرگ(۳ عدد)، گیره حلقه‌دار (۲ عدد)، گیره چند منظوره(۴ عدد)، گیره چنگکدار (۲عدد)، منبع تغذیه DC ، ۵ A-۰و۱۵ V-۰، میکروولتمتر، سیم ترموکوپل(Cu،Cons،Ni Cr)

کالریمتر(۲ عدد)،میله (۳ عدد)،سیم گیره سوسماری(۲عدد)،سیسم رابط معمولی ۱۰۰cm (۲عدد) ،سیم BNC فیشدار (۱عدد)

ملاحظات نظری:

آثار ترموالکتریک شامل اثر سیبک، اثر پلیتر و اثر تامسون، اثر گالوانر مغناطیسی، اثر اتینگزهاوزن (Ettingshausen) و اثر نرنست Nernst می‌باشد. برخی از این آثار کاربردهای وسیعی پیدا کرده‌اند لذا مطالعه آنها نه تنها آموزنده است بلکه از نظر کاربردی جالب توجه می‌باشد.

اثر سیبک Seebeck effect: در سال ۱۸۲۲ میلادی سیبک (T.J.Seebeck) دریافت که در مداری که شامل دو قطعه رسانای ۱ و ۲ از دو مادهٔ مختلف که در دو انتهای A و B به یکدیگر متصل و این دو انتها در دو دمای

شکل 12

متفاوت T_1 و T_2 قرار گرفته‌اند نیروی محرکهٔ (V_T) ایجاد می‌گردد. به شکل ۱۲ نگاه کنید.

این نیروی محرکه (V_T)، نیروی محرکهٔ گرمائی Thermal e.m.f نامیده می‌شود. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در فواصل محدود دمائی، V_T با اختلاف دمای بین نقاط A و B متناسب است.

$$V_T = \alpha(T_1 - T_2)$$

ضریب تناسب $\alpha = \frac{dV_T}{dt}$، شیب و یا ضریب ویژهٔ توان ترموالکتریکی نامیده می‌شود که به جنس رساناها و دما بستگی دارد.

برای نیروی محرکه گرمائی سه منشاء وجود دارد. جریان جهت‌دار حامل‌های بار رسانا در اثر وجود شیب (گرادیان) دما (مؤلفهٔ حجمی V_V)، تغییر مکان تراز فرمی (مؤلفهٔ اتصالی V_j) و کشش الکترون‌ها توسط فونون‌ها (اثر کشش فونونی).

الف) مؤلفهٔ حجمی نیروی محرکه گرمائی V_V:

فرض می‌کنیم که اختلاف دمای ($T_2 - T_1$) به دو سر یک رسانای یکنواخت AB اعمال شده است لذا یک گرادیان دمای $\frac{dt}{dx}$ در امتداد B به A وجود دارد. حاملان شدت جریان در انتهای گرم آن دارای انرژی جنبشی و لذا سرعت حرکتی بیشتری نسبت به حاملان انتهای سرد آن خواهند داشت. در نتیجه در داخل رسانا جریانی از این حاملان بار از انتهای گرم بطرف انتهای سرد آن جاری می‌گردد. در حالاتی که حاملان جریان الکترون‌ها باشند، انتهای سرد، تجمعی از بارهای منفی، و انتهای گرم، بار مثبت خواهد یافت و اختلاف پتانسیل V_V بین این دو انتها بوجود می‌آید که همان مؤلفهٔ حجمی نیروی محرکه گرمائی است. توان ترموالکتریک جزئی مربوطه به این مؤلفه:

$$\alpha_V = \frac{\partial V_V}{\partial T}$$

می‌شود که ممکن است بصورت زیر برآورد گردد. فشار گاز الکترونی در رسانا برابر است با:

$$P = \frac{2}{3} n \bar{E}$$

که $\bar{E}$ میانگین انرژی الکترون‌های رسانا و n تجمع آنهاست.

گرادیان دما منجر به یک گرادیان فشار می‌شود که با میدان الکتریکی حاصله ε در تقابل قرار می‌گیرد بطوریکه:

$$e\varepsilon n = \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

از آن α_V بسادگی حاصل می‌شود:

$$\alpha_V = \frac{\partial V_V}{\partial T} = \frac{\varepsilon \partial X}{\partial T} = \varepsilon \left(\frac{\partial T}{\partial X}\right)^{-1} = \frac{1}{ne} \frac{\partial p}{\partial T}$$

قاعدتاً در رسانای نوع -n، جهت α_V از انتهای گرم بطرف انتهای سرد آن است. اگرچه استثناهائی وجود دارد که ذیلاً تشریح خواهد شد.

ب- مؤلفهٔ اتصالی نیروی محرک گرمائی V_j:

تغییر دما منجر به تغییر در مکان تراز فرمی Fermi می‌گردد. در رساناهای نوع -n در نمودار انرژی با باالا رفتن دما تراز فرمی نزول می‌کند و در این رسانا بایستی در انتهای سرد بالاتر از انتهای گرم آن باشد.

اختلاف مکان تراز فرمی برابر است با اختلاف پتانسیل:

$$dv_j - \frac{1}{e} \frac{\partial \mu}{\partial T}$$

و این همان مؤلفهٔ اتصالی نیروی محرکهٔ گرمائی است. توان ترموالکتریکی جزئی مربوط به این مؤلفه:

$$\alpha_j = -\frac{1}{e} \frac{\partial \mu}{\partial T}$$

و توان ترموالکتریک جزئی منتجه عبارتست از:

$$\alpha = \frac{1}{ne} \frac{\partial p}{\partial T} - \frac{1}{e} \frac{\partial \mu}{\partial T}$$

رابطه اخیر در خصوص انواع مختلف رساناها قابل کاربرد است.

توان ترموالکتریکی فلزات:

با قرار دادن انرژی میانگین الکترون‌های گاز الکترونی ایجاد شده از رابطهٔ:

$$\bar{E} = \frac{3}{5} E_f \left[1 + \frac{5\pi^2}{12} \left(\frac{k_B T}{E_f} \right)^2 \right]$$

که از وابستگی توزیع فرمی- دیراک به دما حاصل شده است، در رابطهٔ اخیر، می‌توان رابطهٔ زیر را برای فشار الکترونی فلز بدست آورد.

$$P = \frac{2}{3} n \bar{E} = \frac{2}{5} n E_f + \frac{\pi^2}{6 E_f} (k_B T)^2$$

با مشتق‌گیری از این رابطه نسبت به T و ضریب کردن آن در $\frac{1}{ne}$ داریم:

$$\alpha_V = \frac{k_B}{e} \frac{\pi^2}{3} \frac{k_B T}{E_f}$$

وابستگی تراز فرمی با دما در مورد فلزات از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$\mu = E_f \left[1 - \frac{\pi^2}{12} \left(\frac{k_B T}{E_f} \right)^2 \right]$$

با مشتق‌گیری از آن نسبت به T و تقسیم کردن آن به e داریم:

$$\alpha_j = + \frac{\pi^2 k_B}{6e} \frac{k_B T}{E_f}$$

و لذا:

$$\alpha_m = \alpha_v + \alpha_j = \frac{\pi^2 k_B}{3e} \left(1 + \frac{1}{2} \right) \frac{k_B T}{E_f}$$

این رابطه متناسب بودن α با T را در مورد فلزات نشان می‌دهد که با آزمایش توافق کاملی دارد.

روش آزمایش:

آزمایش ۱: بشر را پر از آب کنید و آنرا روی توری و سه پایه قرار داده و چراغ بنزن را زیر آنها قرار دهید. دماسنج را توسط نخ محکمی طوری آویزان کنید که درون آن و تقریباً در وسط بشر قرار گیرد. یکی از ترموکوپل‌ها (مثلاً آهن- کنستانتان) را بردارید و دو سر آن را به میکروولتمتر متصل نمائید.

مثداری یخ به آب بشر اضافه نموده و صبر کنید تا دما به صفر درجه سلسیوس برسد در این لحظه میکروولتمتر را صفر کنید و جدولی مطابق جدول ذیل تهیه تا نتایج را در آن ثبت نمائید

جدول 5

	T(◦c)	V(mv)
۱	۰	۰
۲		
۳		
۴		
۵		

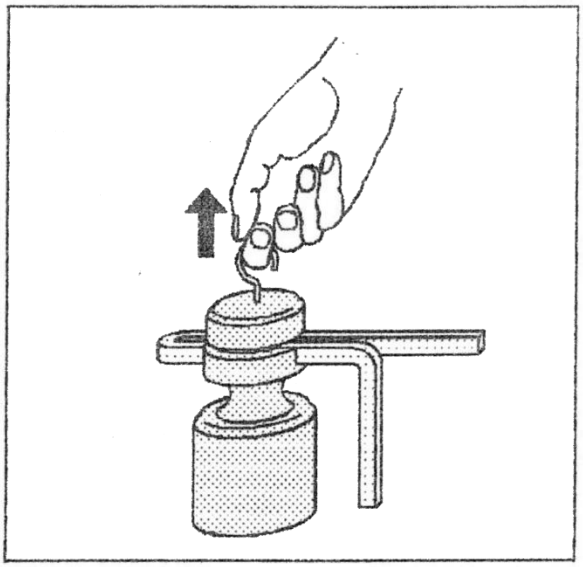
یخ‌های اضافی را از بشر خارج نموده و چراغ بنزن را روشن کنید تا آب گرم شود و سعی کنید شعله کم باشد تا بتوانید دما را کنترل کنید. آب بشر را هم بزنید تا یکنواخت بماند. چراغ بنزن را از زیر بشر دور کنید و پس از ثابت شدن دما، میزان دما و ولتاژ (نیروی محرکه گرمائی) را قرائت و در جدول درج نمائید. این کار را تا بالاترین دمای قابل دسترس (نزدیکی نقطه جوش آب) ادامه دهید.

برای دماهای بالاتر می‌توانید از روغن اتومبیل و اگر امکان داشته باشد از روغن سیلیکون استفاده نمایید.

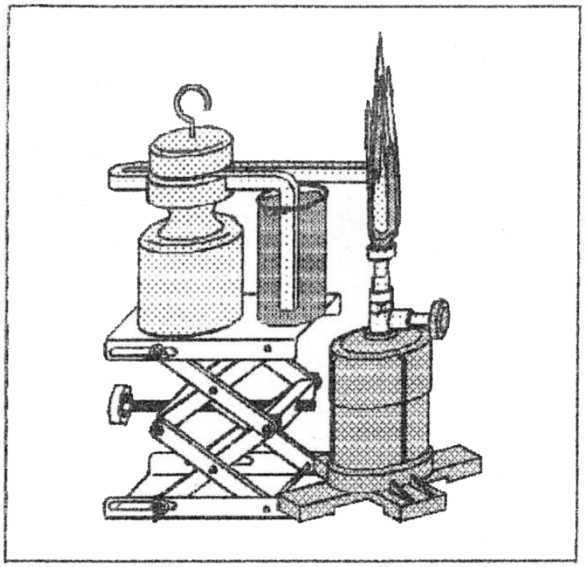
آزمایش مشابهی را برای سایر ترموکوپل‌ها انجام داده منحنی تغییرات نیروی محرکه گرمائی با دمای T را رسم و رابطه خطی آنها را مشاهده کنید.

آزمایش ۲: وزنهٔ مگنت ترموالکتریک را روی جک آزمایشگاهی قرار دهید. ترموکوپل مس- کنستانتان مخصوص آن را درون شیارهای مگنت قرار داده و قرص حلقه‌دار (قطب دوم آهنربا) را روی آن بگذارید و قطب مزبور را روی قطب اول ضمن اینکه می‌فشارید، به صورت دورانی حرکت دهید تا فاصله هوائی بین دو قطب تا حد ممکن کاهش یابد.

جک آزمایشگای را بالا ببرید بطوریکه ارتفاع آن بحدی برسد که شعله چراغ بنزن بتواند انتهای افقی ترموکوپل را دربرگیرد و بشر را مملو از آب سرد کرده و روی جک مطابق شکل (۲) طوری قرار دهید که قسمت اعظم انتهای قائم ترموکوپل داخل آب قرار گیرد.



شکل ۱۳: شکل ۳

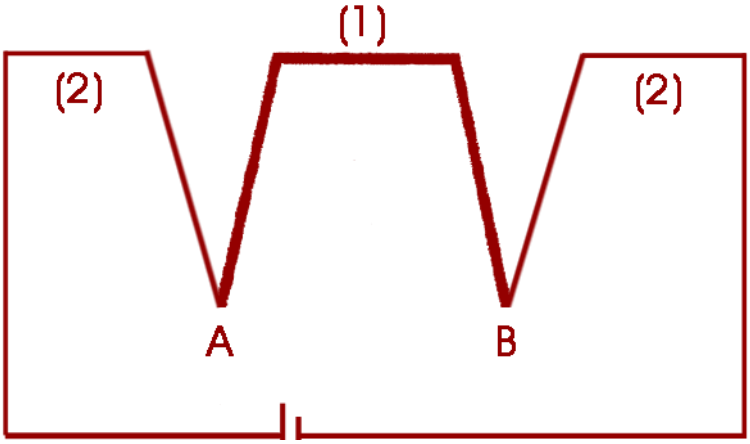


شکل ١٤ :شکل۲

چراغ بنزن را روشن کنید و شعله آن را به انتهای افقی ترموکوپل بگیرید و صبر کنید تا گرمای آن بخوبی به ترموکوپل منتقل شود. پس از حدود ۱۰ دقیقه حلقه قطب فوقانی را به آهستگی بالا بکشید. ملاحظه خواهید کرد که دو قسمت مگنت به یکدیگر چسبیده‌اند و در اثر عبور جریان شدید (حدود ۱۰۰ آمپر) از میله مسی (حلقه جریان ترموکوپل) بخش میانی وزنه، آهنربا شده و قرص آهنی را جذب نموده و نگه می‌دارد. اگرچه ولتاژ ایجاد

شده در ترموکوپل اندک است (حدود ۱۵mv) لیکن بعلت ناچیز بودن مقاومت ترموکوپل شدت جریان زیاد در آن ایجاد می‌گردد.

اثر پلتیر Peltier effect: فرض کنید شدت جریان I از مداری متشکل از دو رسانای ناهمسان (۱) و (۲) مطابق شکل (۴) می‌گذرد.



شکل ۱۵: شکل ٤

گرمای ژول ایجاد شده در محل‌های اتصال A و B از رابطهٔ $Q = RI^2t$ که در آن R مقاومت محل اتصال و t زمان عبور جریان است، بدست می‌آید. این گرمائی است که فقط در محل اتصال رساناهای مورد نظر تولید می‌شود وگرنه تفاوتی بین اتصال و سایر قسمت‌های رسانا وجود ندارد. در عین حال در نقاط اتصال مواد مختلف علاوه بر گرمای ژول، گرمای دیگری ایجاد و یا جذب می‌گردد، که بترتیب موجب گرم شدن و یا سرد شدن نقطه اتصال می‌شود. این پدیده برای اولین بار در سال ۱۸۳۴ میلادی توسط J.C.A. Peltier کشف گردید و به اثر پلتیر معروف است.

گرمای اضافی آزاد و یا جذب شده در محل اتصال، گرمای پلتیر Q_P نامیده می‌شود.

آزمایش‌ها نشان می‌دهد که Q_P متناسب با شدت جریان و مدت زمان عبور آن است.

$$Q_P = \Pi It$$

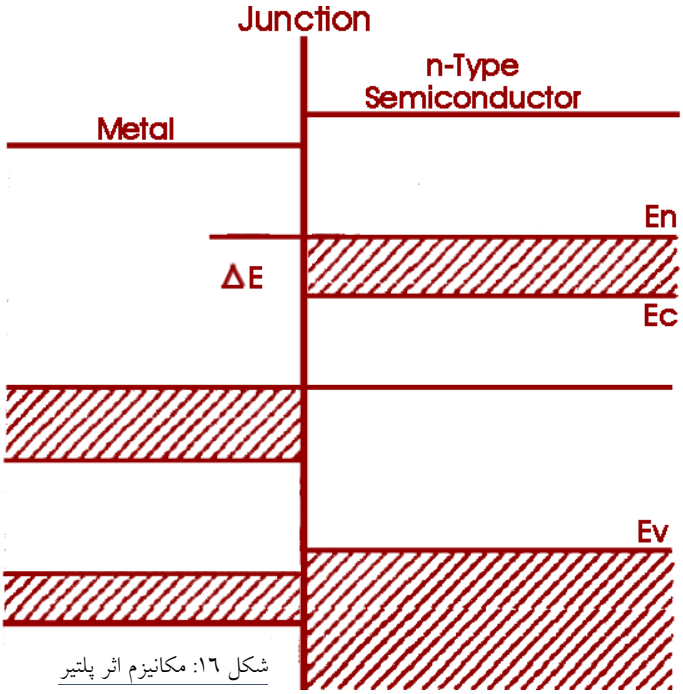
و ضریب تناسب Π، ضریب پلتیر نامیده می‌شود که مقدار آن بستگی به جنس مواد و دما دارد.

رابطهٔ مستقیمی بین آثار پلتیر و سی‌بک وجود دارد: اختلاف دما در مداری که شامل مواد متفاوت باشد ایجاد شدت جریان می‌کند و عبور شدت جریان از چنین مداری اختلاف دما بوجود می‌آورد. عامل ارتباطی این امر انرژی است.

تامسون (لردکلوین)، که مؤلف نظریه ترمودینامیکِ اثر ترموالکتریک است، نشان داد که:

$$\alpha = \frac{\Pi}{t} \qquad (a)$$

اثر پلتیر به اختلاف انرژی متوسط الکترون‌های رسانشی مواد ناهمسان مربوط می‌شود. به عنوان مثال، اتصال یک فلز با یک نیمه هادی نوع n- را مطابق شکل (۵) در نظر بگیرید.



شکل ۱۶: مکانیزم اثر پلتیر

شکل ۵- در این آرایهٔ، باند انرژی اتصال فلز- نیمه رسانا- مکانیسم اثر پلتیر را نشان می‌دهد. پس از رسیدنی به حالت تعادل، تراز فرمی آنها یکسان می‌شود. فقط الکترون‌های نزدیک‌تر از فرمی که میانگین انرژی آنها عملاً مساوی انرژی فرمی است در هدایت فلز مشارکت می کند.

میانگین انرژی الکترون‌ها در نیمه رسانا را با $\bar{E}n$ نشان می‌دهیم. این انرژی با انرژی گرمائی الکترون‌ها $(\frac{۳}{۲}k_BT)$ برابر نیست، زیرا در جریان الکتریکی، حرکت الکترون‌های سریع نقش عمده‌تری نسبت به الکترون-های کند دارد. محاسبه در مورد گاز الکترونی نشان می‌دهد که:

$$\bar{E}n = (r+۲)k_BT$$

که r توان رابطهٔ: $\lambda \alpha \bar{E}^{۲}$ است که در آن λ مسیر آزاد متوسط الکترون با انرژی E می‌باشد.

تصور کنید که شدت جریان الکتریکی جاری در محل اتصال طوری است که الکترون‌ها از نیمه رسانا به فلز می‌روند. از شکل فوق می‌توان دید که هر الکترونی که از نیمه رسانا به فلز می‌رود یک انرژی اضافی به اندازهٔ:

$$\Delta E = \bar{E}n + (-\mu_n)$$

با خود حمل می‌نماید. این انرژی گرمای پلتیر است و در نزدیکی محل اتصال آزاد می‌گردد. وقتی که جهت شدت جریان عوض می‌شود، الکترون‌هائی که از فلز به نیمه هادی می‌روند، گرما را جذب نموده و محل اتصال را سرد می‌کنند. با تقسیم کردن ΔE به بار الکتریکی الکترون (e-) ضریب پلتیر حاصل می‌شود

$$\Pi_{mn} = -\frac{\Delta E}{e} = -\frac{1}{e}(\bar{E}n - \mu_n)$$

با قرار دادن مقدار μ از رابطه:

$$\mu = k_B T \ln\left[\frac{N}{V}\left(\frac{h^2}{2\pi m k_B T}\right)^{\frac{3}{2}}\right]$$

و نیز مقدار $\bar{E}n$ در رابطه فوق داریم:

$$\Pi_{mn} = -\frac{k_B T}{e}\left[(r+2) + \ln\frac{2(2\pi m_n k_B T)^{\frac{3}{2}}}{nh^3}\right]$$

رابطه مشابهی نیز برای محل اتصال در خصوص فلز و نیمه هادی نوع P- بدست می‌آید:

$$\Pi_{mp} = -\frac{k_B T}{e}\left[(r+2) + \ln\frac{2(2\pi m_n k_B T)^{\frac{3}{2}}}{ph^3}\right]$$

در مورد اتصال دو فلز، ضریب پلتیر با استفاده از رابطه (α) داریم:

$$\Pi_{1,2} = (\alpha_1 - \alpha_2)T$$

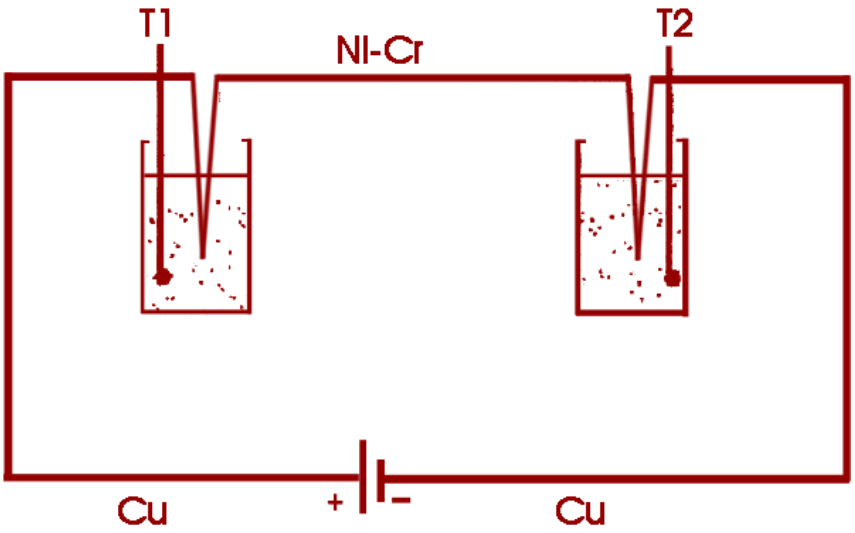
که با جایگذاری در آن خواهیم داشت:

$$\Pi_{1,2} = \frac{(\pi k_B T)^2}{3e}(1+r)\left(\frac{1}{E_{f1}} - \frac{1}{E_{f2}}\right)$$

آزمایش ۳: دو دستگاه کالریمتر یکسان انتخاب و درون هر دو به میزان مساوی آب با دمای یکسان بریزید و دمای آنها را یادداشت نمائید.

یک قطعه سیم کرم- نیکل به طول تقریبی ۵/ متر انتخاب و دو قطعه مساوی سیم مسی به دو انتهای آن متصل نمائید و دو اتصال مربوطه را به‌طور مشابه در آب کالریمترها وارد کنید (بطوریکه مقدار مساوی از هر دو انتها درون آب کالریمتر قرار گیرد). دو انتهای دیگر سیم‌های مسی را به منبع تغذیه متصل و شدت جریان مناسبی (در حدود ۳ آمپر) از مدار عبور دهید.

آب کالریمترها را به آهستگی به هم بزنید و پس از مدتی دماهای آنها را یادداشت و با مقدار اولیه مقایسه تا اثر پلتیر را دریابید.



شکل 17

کالریمترها و منبع تغذیه را بردارید و به جای منبع تغذیه میکرو آمپر(یا گالوانومتر) قرار داده و یکی از دو اتصال را با شعله گرم کنید و جهت جریان را تعیین نموده و آثار سی‌بک و پلیتر را با یکدیگر مقایسه کنید.

آزمایش پدیده فرومغناطیس در مدل آهنربا

وسائل آزمایش: سیم‌پیچ‌های هلمهولتز، اورهد، مدل آهن ربا(مکعبی و شش گوش)، عقربه مغناطیسی بزرگ، مولد موج ۰/۱ HZ تا ۲ MHZ، تقویت‌کننده ۸۰w AC/DC با گالوانومتر، سیم‌پیچ ۱۰۰۰ دور، بوبین‌های تخت ۱۲۰ دور (۲ عدد)، منبع تغذیه A،DC ۵-۰و V ۱۵-۰ ، سیستم الکترونیک و نرم‌افزار رسم منحنی، تقویت‌کننده انداز-گیری، سیم رابط معولی cm ۱۰۰(۶ عدد)، سیم رابط ۲۵cm(۲ عدد)، سیم رابط دو سر BNC (۳ عدد)، سیم رابط BNC - فیش‌دار(۱ عدد) ، رابط T-BNC ،پایه ساده .

هدف آزمایش: بررسی مواد فرومغناطیس با استفاده از مدل آن، مشاهده پس‌ماند در مدل ماده فرومغناطیس و رسم منحنی پس‌ماند آن.

ملاحظات نظری:

روش آزمایش: عقربه مغناطیسی بزرگ را روی پایه آن نصب نموده و روی اورهد، که در میان حلقه‌های هلمهولتز قرار دارد، بگذارید و به وسیله آن امتداد شمال و جنوب محل آزمایش را بدست آورید. مجموعه سیم‌پیچ‌های هلمهولتز و اورهد را روی میز طوری بچرخانید که امتداد عقربه به سطح سیم‌پیچ‌ها عمود گردد.

با بکار گرفتن منبع تغذیه ۱۵ ولت ۵ آمپر هر یک از سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را به یکی از خروجی‌های منبع تغذیه مثلاً A متصل نمائید. یکی از سیم‌پیچ‌ها (مثلاً اولیه) را برای حنثی کردن مؤلفه افقی میدان مغناطیسی زمین در فضای بین سیم‌پیچ‌ها و دیگری را برای اعمال میدان خارجی انتخاب نمایید.

جریان سیم‌پیچ اولیه را تغییر دهید بطوری که اولاً- باعث کاهش میدان برآیند در فضای مزبور گردد (اگر میدان افزایش می‌یابد وضعیت کلید این سیم‌پیچ در روی پایه سیم‌پیچ‌ها را معکوس کنید) ثانیاً- مقدار میدان طوری باشد که عقربه مغناطیسی سرگردان گردد و در هر امتدادی که قرار می‌دهید، تقریباً بدون چرخش در آن امتداد باقی بماند. (ولتاژ مربوط به شدت جریان رسیدن به این حالت تقریباً ۰/۸ ولت است).

عقربه و پایه آن را بردارید و مدل ماده فرومغناطیس را روی پروژکتور اورهد و درست در وسط آن قرار دهید. بوبین‌های تخت ۱۲۰ دور را در دو طرف آن مطابق شکل (۱) سوار کنید و با سیم‌های رابط آنها را بطور صحیح سری نمائید و با استفاده از یک سیم BNC فیش‌دار، آنها را به قسمت ورودی I و Q تقویت‌کننده اندازه‌گیری متصل کنید و خروجی این تقویت‌کننده را با یک سیم BNC به قسمت μA تقویت‌کننده AC/DC وصل کنید تا بدین‌ترتیب بتوانید اثر القاء میدان در بوبین‌ها را مشاهده و از صحت سری بودن آنها مطمئن شوید. در این حالت سلکتور تقویت‌کننده را در حالت 10^{-8} آمپر بگذارید.

خروجی قسمت B منبع تغذیه ۱۵ ولت DC را که به سیم‌پیچ‌های ثانویه هلمهولتز متصل نموده‌اید تا ولتاژ حداکثر (۱۵ ولت) بالا ببرید. با استفاده از پیچ Zero adj تقویت‌کننده اندازه‌گیری عقربه میکروآمپرمتر را در وسط (۵۰μA) قرار دهید. حال با بالا و پائین زدن کلید مربوط به جریان سیم‌پیچ ثانویه عقربه میکروآمپرمتر به چپ و راست حرکت نموده و القاء الکترومغناطیسی در بوبین‌ها را نشان می‌دهد. اگر حرکتی مشاهده نشد، جای دو فیش بر روی یکی از بوبین‌ها را تعویض و مجدداً آزمایش کنید تا این حرکت مشاهده گردد. معمولاً در این حالت عقربه میکروآمپرمتر تا حد ۲۰μA به چپ و راست منحرف خواهد گردید. اکنون مدل ماده فرو مغناطیس را از بین بوبین‌ها بردارید. بوبین ۵۰۰ دور را در امتداد میدان مغناطیسی زمین روی پروژکتور اورهد قرار دهید و آن را با بوبین‌های تخت سری نمائید. در اثر بالا و پائین زدن کلید سیم‌پیچ‌های ثانویه (متناوباً معکوس نمودن جهت جریان) عقربه میکروآمپرمتر به چپ و راست منحرف خواهد شد. ضمن اینکه موقعیت کلید را مرتباً تعویض می‌کنید، هر بار محور بوبین ۵۰۰ دور را قدری بچرخانید و آنقدر این کار را ادامه دهید تا حرکت عقربه میکروآمپرمتر به حداقل برسد و به سمت معکوس شدن وضعیت قبلی میل نماید. با رسیدن به این وضعیت، آنچه که در اثر تغییر شار در بوبین‌های تخت القاء می‌شد، در بوبین ۵۰۰ دور در خلاف جهت القاء گردیده و اثر القائی حاصل از تغییرات جریان در سیم‌پیچ‌های ثانویه هلمهولتز خنثی می‌شود. پس از اطمینان از رسیدن به این حالت، مدل ماده فرو مغناطیسی مکعبی را به آهستگی درون بوبین‌های تخت قرار دهید. حال اگر جریان سیم‌پیچ‌های

هلمهولتز را باز هم بطور تناوبی تغییر دهید مجدداً حرکتی را در میکروآمپرمتر مشاهده خواهید نمود که مربوط به القاء الکترومغناطیسی حاصل از تغییر جهت یافتن عقربه‌های مدل ماده فرومغناطیس است که قرار است مورد بررسی قرار گیرد.

آزمایش ۱: مشاهده مناطق آهنربایی در مدل آهنربا و حالت اشباع میدان

چراغ اورهد را روشن کنید و تصویر واضحی از مدل آهنربا بر روی پرده ایجاد نمایید. در حالتی که مدل آهنربا پس از تکان‌های بی‌هدفی روی پروژکتور گذاشته شده باشد، مناطقی در آن مشاهده خواهد شد که در آن منطقه‌ها تعدادی عقربه مغناطیسی بطور منظم در جوار یکدیگر قرار گرفته‌اند و در مجاورت همین منطقه، منطقه دیگری یافت می‌شود که عقربه‌ها با نظم خاصی (نه در جهت عقربه‌های قبلی) قرار گرفته‌اند با وجود این مناطق آهنربایی بعلت کتره‌ای قرار گرفتن مجموعه آنها جسم آهنربا نبوده و یک ماده فرومغناطیس است (مثل آهن نرم).

اکنون با استفاده از منبع تغذیه ۱۵ ولتی اشاره شده در فوق، جریان کمی از سیم‌پیچ‌های ثانوی عبور دهید. ملاحظه خواهد شد که عقربه‌ها کم و بیش دوران کرده و وضعیت جدید از نظم موضعی و بی‌نظمی کلی ایجاد می‌شود لیکن در مجموعه عقربه‌ها جهت‌دار هستند یعنی قطعه خاصیت آهنربایی دارد. اگر جریان فوق را قطع کنیم همگی به حالت اولیه برمی‌گردند. اگر میزان جریان فوق را افزایش داده و همین عمل را تکرار کنید مشاهده خواهید نمود که تعدادی از عقربه‌ها تغییر جهت داده و در امتداد میدان قرار می‌گیرند که با قطع جریان نظم کلی بیشتری بر مجموعه حاکم خواهد بود یعنی جسم فرومغناطیس کمی خاصیت آهنربایی پیدا کرده است. بدیهی است که با تغییر دادن جهت جریان جهت عقربه‌ها نیز عوض شده و مجموعه در جهت دیگر آهنربا می‌شود.

اگر شدت جریان را خیلی زیاد کنید، تقریباً کلیه عقربه‌ها هم‌جهت میدان می‌شوند و میدان مغناطیس حاصل از جریان را افزایش می‌دهند. حال اگر همه عقربه‌ها هم‌جهت شده باشند عقربه‌های دیگری باقی نمی‌ماند تا به دیگران پیوسته و میدان را تقویت کنند، این حالت وضعیت اشباع مغناطیسی ماده را نشان می‌دهد. به منحنی زیر توجه کنید.

B. القاء مغناطیسی خارجی و Mمغناطش و M_{Max} پیشینه مغناطش ماده می‌باشد.

آزمایش ۲: بررسی پس‌ماند در مدل ماده فرومغناطیس

خروجی مولد موج را به ورودی تقویت‌کننده AC/DC ۸۰ وات متصل و خروجی این تقویت‌کننده را به ورودی سیم‌پیچ‌های هلمهولتز (سیم‌پیچ‌های ثانویه) وصل نمایید. وضعیت نوسان مولد موج را روی حالت مثلثی و فرکانس آن را روی HZ ۰/۱ قرار دهید. دامنه مولد موج و یا میزان تقویت را بنحوی تنظیم نمایید که چراغ قرمز تقویت‌کننده AC/DC چشمک بزند. با تنظیم پیچ Offset تقویت‌کننده، موقعیتی را فراهم کنید که میزان روشن بودن چراغ قرمز در حالت بیشینه و حالت کمینهٔ ولتاژ یکسان باشد. حال پیچ تقویت (Gain) را کاهش دهید تا چشمک زدن چراغ بصورت مرزی قطع شود. ملاحظه خواهید نمود که در هر ۵ ثانیه یکبار جهت عقربه‌ها تعویض می‌شود (هر نیم پریود یکبار).

یک سیم BNC را با خروجی مولد موج موازی نموده و آن را به قسمت ورودی B اینترفیس (Interface) متصل نمائید. سیم‌های خروجی سیم‌پیچ‌های تخت را به ورودی تقویت کننده اندازگیری و خروجی تقویت کننده را به قسمت ورودی A اینترفیس مربوط نمایید.اینترفیس را روشن کنید و برنامه نرم افزاری آن را در رایانه اجرا نمایید. هرگاه کلیه تنظیمات دستگاه ها به خوبی صورت گرفته باشد،درنمودار A-B یک منحنی بسته مشاهده خواهد شد با کلید مربوطه ،integral اینترقیس را فعال نمایید تا انتگرال منحنی قسمت A را ارایه کند.فرکانس مربوط به قسمت integral را در وضعیت HZ۱۰> قرار دهید.با توجه به اینکه خروجی سیم پیچ های تخت طبق روال رابطه زیر است:

$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt} \qquad dt = -Nd\varphi$$

که پس از انتگرال گیری داریم:

$$\varepsilon t = -N(\varphi - \varphi.)$$

لذا خروجی مربوط به قسمت A اینترفیس با φ (شار عبوری از آن)متناسب خواهد بود.بنابراین با توجه به منحنی زیر،که محور افقی نشان دهنده H حاصل از جریان الکتریکی عبوری از سیم پیچهای هلمهولتز و محور قائم آن نشان دهنده B القاء الکترومغناطیسی حاصل از چرخش عقربه های مغناطیسی میباشد.منحنی هیسرزیس یا پس ماند حاصل میگردد.

برای استفاده از برنامه اینترفیس باید قبلا مقادیر زیر در بخش های مختلف برنامه تنظیم شده باشند. با وارد کردن اسم رمز مربوط به برنامه (که در صورت لزوم می‌توانید آن را تغییر دهید) امکان تنظیم‌های اشاره شده فراهم می گردد:

Capture com ۱

Baffer size ۱۲۰.Sec

Baud Rate ۳۸۴۰۰

Refresh Rate ۵۰ms

Channel A min -۲,۵ v max ۲,۵ v

Channel B min -۲,۵ v max ۲,۵ v

A-B

X axis setting.

-۳ v small step ۰,۴ volt

+٣ v large step ٢ volt

caption channel ٨

Y axis setting

-٣ v small step ٠,٤ V

+٣ v large step ٢ V

plot style solid plot width ١

General

Display Buffer size ١٥. Sec

آزمایش پس‌ماند مغناطیسی در هسته آهنی

وسائل آزمایش: تراسنفورمربا هسته آهنی،تقویت‌کننده AC/DC ۸۰ وات همراه با گالوانومتر،سیستم الکترونیک و نرم‌افزار رسمی منحنی،سیم رابط دو سر BNC (۲عدد) ،سیم رابط BNC فیش‌دار (۱ عدد)، سیم رابط معولی cm ۱۰۰(۲ عدد)،رابط T BNC(۱عدد)

هدف آزمایش: بررسی پس‌ماند مغناطیسی در هسته آهنی یک ترانسفورمر و رسم منحنی پس‌ماند آن.

ملاحظات نظری: با عبور شدت جریان I از یک سیم‌پیچ که دارای n_1 دور سیم و طول l است، شدت میدان مغناطیسی H تولید می‌شود که:

$$H = I\frac{n_1}{L}$$

که القاء مغناطیسی مربوطه عبارتست از:

$$B = \mu_0\mu_r H$$

که در آن μ_0 ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ و μ_r ضریب نفوذ نسبی مغناطیسی ماده‌ای است که درون سیم‌پیچ قرار گرفته است. ضریب μ_r خاصیتی از این ماده است و موجب افزایش القاء مغناطیسی سیم‌پیچ نسبت به حالت خالی آن می‌گردد. مقدار μ_r در مورد یک ماده فرومغناطیس ثابت نیست بلکه مقدار H و گذشته مغناطیسی ماده مربوط می‌شود.

اگر القاء مغناطیسی B به صورت تابعی صعودی و نزولی از شدت میدان H اندازه‌گیری شود. این وابستگی‌ها آشکار می‌گردند. منحنی پس‌ماند نشان می‌دهد که به سبب وابستگی μ_r به گذشته ماده، B تابع ثابتی از H نیست به شکل ( ) نگاه کنید.

در این آزمایش از هسته آهنی یک ترانسفورمر به عنوان ماده فرومغناطیس استفاده می‌شود. به کمک یک تقویت-کننده قابل کنترل AC/DC شدت جریان I را که به صورت تابعی مثلثی نسبت به زمان تغییر می‌کند به سیم‌پیچ اولیه یک ترانسفورمر اعمال نموده و میدان B را تولید می‌کنیم.

اگر محور Xها را به ولتاژی که این جریان I را تولید می‌نماید اختصاص دهیم، شدت میدان H که با I متناسب است با مقادیر X سنجیده می‌شود.

القاء مغناطیسی B را با انتگرال‌گیری از نیروی محرکه القاء شده در سیم‌پیچ ثانویه $\varepsilon(t)$ بدست می‌آوریم لذا اگر مساحت مقطع هسته آهنی A و تعداد دورهای سیم‌پیچ ثانویه n_2 باشد داریم:

$$\varepsilon(t) = -n_2 \frac{d\varphi}{dt} = -n_2 A \frac{dB}{dt}$$

که پس از انتگرال‌گیری داریم:

$$\int_0^t \varepsilon(t)dt = -n_2 A(B_t - B_0)$$

این انتگرال‌گیری توسط مدار داخل اینترفیس انجام و به محور y داده می‌شود. در این آزمایش ورودی B اینترفیس برای محور xها و ورودی A اینترفیس (قابل انتگرال‌گیری) برای محور Yها اختصاص می‌یابد. و در صفحه X-Y کامپیوتر که محور Xها مربوط به ورودی B و محور Yها مربوط به ورودی انتگرال گرفته شده ورودی A می‌باشد منحنی پس‌ماند ترسیم می‌گردد. دقت شود که برای دستیابی به منحنی مناسبی از پس‌ماند، اشباع شدن القاء مغناطیسی B در هسته کارساز خواهد بود لذا بیشترین خروجی تقویت‌کننده (تا جایی که شکل تابع مثلثی جریان تخریب نشود) مورد نیاز می‌باشد که در تنظیم آن باید کمال دقت منظور گردد.

روش آزمایش: ترانسفورمر را آماده کنید. در یک طرف آن سیم‌پیچ اولیه ۱۰۰۰ دور و در طرف دیگر آن سیم‌پیچ ثانویه ۱۲ دور که از ۲ تا ۱۲ قابل تغییر است قرار گرفته است.

نوسان‌ساز را در فرکانس ۲HZ قرار داده و شکل موج را مثلثی انتخاب کنید و خروجی آن را با یک سیم BNC فیش‌دار و اتصال آن به سیم فیش‌دار BNC دیگر به ورودی تقویت‌کننده متصل نمائید. از محل اتصال این دو سیم، سیم فیش‌دار BNC دیگری را به محل ورودی B اینترفیس وصل کنید.

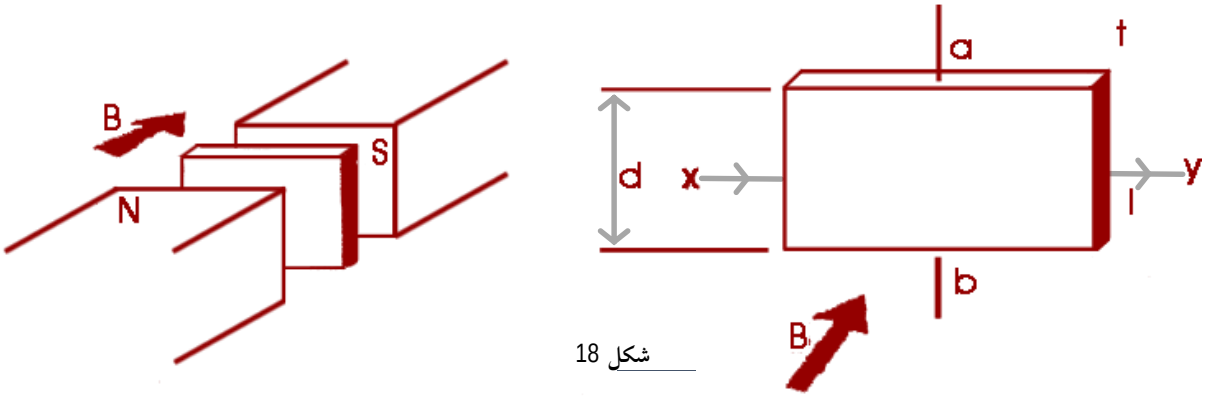
خروجی تقویت‌کننده را با دو سیم رابط معمولی به سیم‌پیچ اولیه ترانسفورمر وارد نموده و با استفاده از سیم فیش‌دار BNC دو دور از ۱۲ دور سیم‌پیچ ثانویه را به ورودی A اینترفیس وصل کنید و کلید انتگرال‌گیری A channel را روی On و کلید انتخاب فرکانس را روی 10HZ〉 بگذارید. رابط سریال اینترفیس را به ورودی سریال رایانه وصل نموده و کلیه دستگاه‌ها را روشن و برنامه interface رایانه را اجرا کنید.

آزمایش اثر هال
'Hall Effect'

وسائل آزمایش: آهنربای الکتریکی (الکترومگنت ۰/۶T)، بُرد مخصوص اثر هال با ورقه نقره، بُرد مخصوص اثر هال با ورقه مس، منبع تغذیه ۰-۱۰A DC و ۰-۲۰V ، منبع تغذیه ۰-۲۰A DC و ۰-۱۰V، میکرو ولتمتر، سیم رابط معولی ۱۰۰ cm (۴ عدد)، سیم رابط معولی ۵۰ cm (۱ عدد)،سیم رابط فیشدار-BNC (۱ عدد)

هدف آزمایش: تعیین نوع حامل‌های بار الکتریکی در رساناها، محاسبهٔ چگالی حجمی الکترون‌های آزاد در رساناهای مورد آزمایش.

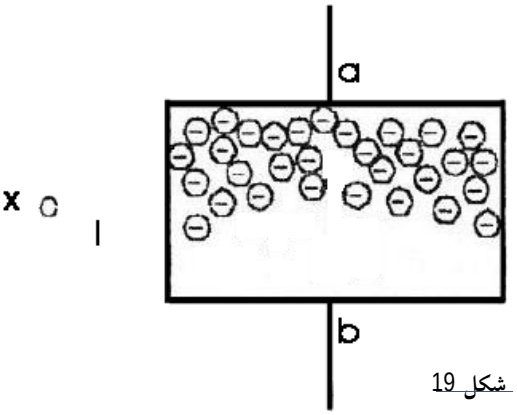
ملاحظات نظری: با قرار دادن یک ورقه فلزی مثلاً نقره یا مس در میدان مغناطیسی یکنواخت و عبور دادن جریان الکتریکی از آن، یک ولتاژ عرضی بنام ولتاژ «هال» ایجاد می‌گردد که با تعیین جهت این ولتاژ نوع حامل-های بار و با اندازه‌گیری مقدار ولتاژ هال چگالی حامل‌های بار آزاد الکتریکی بدست می‌آیند.



شکل 18

فرض کنید ورقه‌ای رسانا به ضخامت t مطابق شکل ۱ طوری در میدان یکنواخت با شدت القاء مغناطیسی B قرار گرفته که خطوط میدان بر سطح رسانا عمود است. اگر شدت جریان I در امتداد طول رسانا عبور داده شود، به هر یک از بارهای الکتریکی حامل جریان، نیروی (۱) $\vec{F} = q\vec{\upsilon} \times \vec{B}$ وارد خواهد شد که اگر نوع بارها مثبت باشند با توجه به شکل از چپ به راست جاری می‌شوند و نیروی وارده آنها را به سمت نقطه a می‌کشاند و چنانچه نوع

حامل‌های بار منفی باشد، در خلاف جهت جریان I یعنی از راست به چپ جریان می‌یابند و باز هم نیروی واردهٔ F آنها را به نقطه a سوق می‌دهد. یعنی اگر پتانسیل a بیشتر از b باشد نوع حامل‌ها منفی خواهد بود.



شکل 19

در اثر متراکم شدن بارهای الکتریکی همنام در یک سمت از عرض ورقه، نیروی دافعه بین آنها افزایش می‌یابد بطوریکه با نیروی مغناطیسی مقابله می‌شود یعنی: (۲)

$$q\upsilon B = Eq$$

و لذا: (۳)

$$E = \upsilon B$$

که اگر پهنای ورقه را با d نمایش دهیم موجب اختلاف پتانسیلی معادل

$$V_H = Ed = \upsilon Bd \qquad (۴)$$

که به ولتاژ هال معروف است می‌گردد. در رابطه اخیر υ سرعت حرکت یا سرعت سوق بارهای الکتریکی است که با استفاده از چگالی جریان داریم:

$$\upsilon = \upsilon_d = \frac{j}{nq} = \frac{I/A}{nq} \qquad (۵)$$

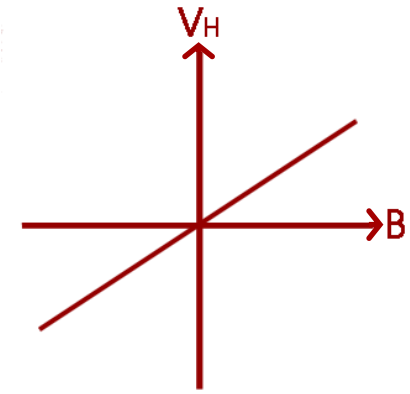
که A=td مساحت مقطع ورقه و n چگالی حامل‌های جریان الکتریکی یعنی تعداد حامل‌های بار موجود در واحد حجم می‌باشد. با قرار دادن این مقدار در رابطه (۴) داریم:

$$V_H = \frac{I \times B}{nqtd} \times d = \frac{IB}{nqt} \qquad (۶)$$

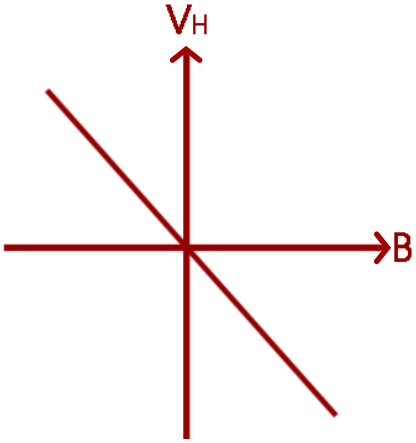
بطوریکه از معادله (۶) پیداست در صورت ثابت نگه داشتن I رابطهٔ ولتاژ هال، V_H، با شدت القاء مغناطیسی، B، یک رابطه خطی است که ضریب زاویه این خط $\frac{I}{nqt}$ و هرگاه B را ثابت نگه داریم. رابطه V_H با شدت جریان I ورقه خطی بوده و ضریب زاویهٔ آن $\frac{B}{nqt}$ می‌باشد.

مقدار $R_H = \frac{۱}{nq}$ را ضریب هال می‌نامند و می‌توان نوشت: $V_H = R_H \frac{BI}{d}$

آزمایش نشان می‌دهد که ضریب زاویه خط فوق را فلزاتی مانند مس منفی (اثر هال عادی) و در مورد رساناهائی مانند روی مثبت است (اثر هال غیرعادی) که اولی بخاطر وجود الکترون‌های آزاد و دومی مربوط به کمبود الکترون آزاد در رسانا می‌باشد.

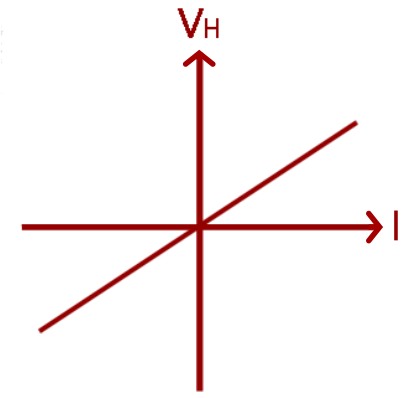


ولتاژ هال بصورت تابعی از القاء مغناطیسی در مورد نمونهٔ روی

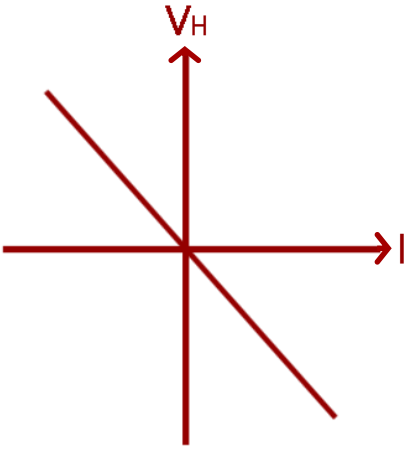


ولتاژ هال بصورت تابعی از القاء مغناطیسی B در مورد نمونهٔ مسی

شکل ۲۱



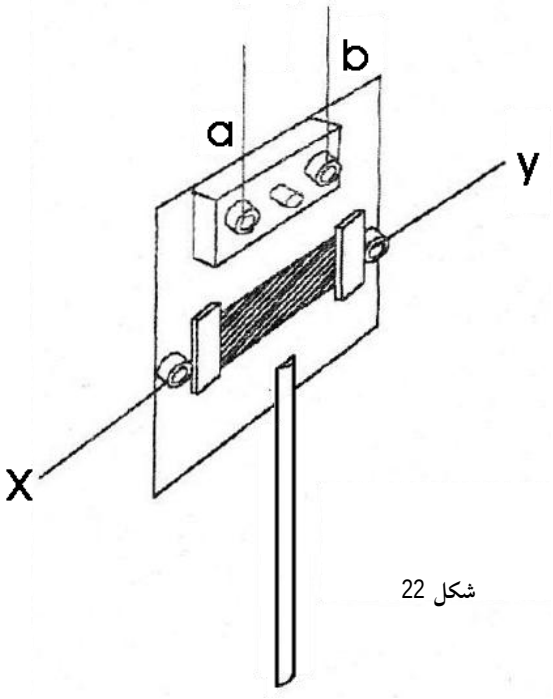
ولتاژ هال بصورت تابعی از شدت جریان I در مورد نمونهٔ



ولتاژ هال بصورت تابعی از شدت جریان I در مورد نمونهٔ مسی

شکل ۲۰

روش آزمایش: سیم‌پیچ‌های آهنربای الکتریکی را روی بازوهای قائم آن قرار دهید و آنها را با سیم رابط بطور سری ببندید بطوریکه جهت جریان در آنها عکس یکدیگر شده و قطبین مغناطیسی آنها مخالف یکدیگر گردد. پایهٔ یکی از بُردهای هال را درون سوراخ کف هسته U شکل طوری قرار دهید که صفحه تابلو (بُرد) عمود بر امتداد میدان گردد. دو قطعه هسته مستطیلی را روی هسته U شکل قرار داده و توسط دو گیرهٔ فنری مربوطه طوری محکم کنید که در دو طرف تابلو قرار گرفته و فاصله آنها از یکدیگر ۷mm باشد. (در این حال هسته‌ها از طرفین بر تابلو مماس می‌شوند).



شکل 22

سیم‌های رابط میکروولتمتر راه به خروجی ولتاژ هال که در مجاورت پتانسیومتر تابلو هال (به شکل ۵ نگاه کنید) قرار دارند وصل کنید (نقاط a و b) و با تغییر دادن پیچ Zero .ad میکروولتمتر را صفر کنید. منبع جریان الکتریکی ۲۰- ۰ آمپر را به اتصال‌های دو سر ورقه مورد آزمایش که در روی تابلو تعبیه شده است متصل کنید.

آزمایش ۱: رسم منحنی V_H برحسب B:

جریان I را به ۱۰ آمپر برسانید و با پیچاندن پتاتسیومتر روی تابلو هال میکروولتمتر را صفر نمائید. آهنربای الکتریکی را که به منبع تغذیه آن متصل نموده و شدت جریان منبع I_M را با فواصل ۰/۵ آمپری تغییر داده و هر بار ولتاژ هال را از روی میکروولتمتر قرائت کنید و نتایج آزمایش را در جدولی مانند جدول ۱ خلاصه نمائید.

با استفاده از نمودار تغییرات القاء مغناطیسی B برحسب شدت جریان I_M (نمودار ۱) مقادیر B را تعیین و در جدول درج نمائی

جدول ٦

	I(A)	I_M(A)	B(mT)	V_H(μv)
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				
۶				

با استفاده از جدول ۱ منحنی تغییرات V_H را برحسب B ترسیم کنید.

با تعیین ضریب زویه خط و اینکه ضخامت ورقه ۳۰μm است مقدار R_H را بدست آورد، و با قرار دادن در رابطه:

$$R_H = \frac{۱}{ne} \Rightarrow n = \frac{۱}{eR_H}$$

که در آن e بار الکتریکی الکترون و برابر $۱/٦\times۱۰^{-۱۹}$ c می‌باشد، چگالی حامل‌های بار در رسانای مورد آزمایش را بدست آورید.

آزمایش ۲: رسم منحنی V_H برحسب I:

شدت جریان منبع تغذیه آهنربای الکتریکی I_M را حدود ۴ آمپر تنظیم نموده و با تغییر دادن شدت جریان ورقه، ولتاژهای مختلف V_H را اندازه‌گیری کنید و نتایج را در جدولی مانند جدول ۷ درج نمائید.

جدول 7

	B(mT)	$I_M(A)$	$V_H(\mu\upsilon)$
۱			
۲			
۳			
۴			
۵			
۶			

با استفاده از جدول ۷منحنی تغییرات V_H را برحسب I ترسیم نمائید.

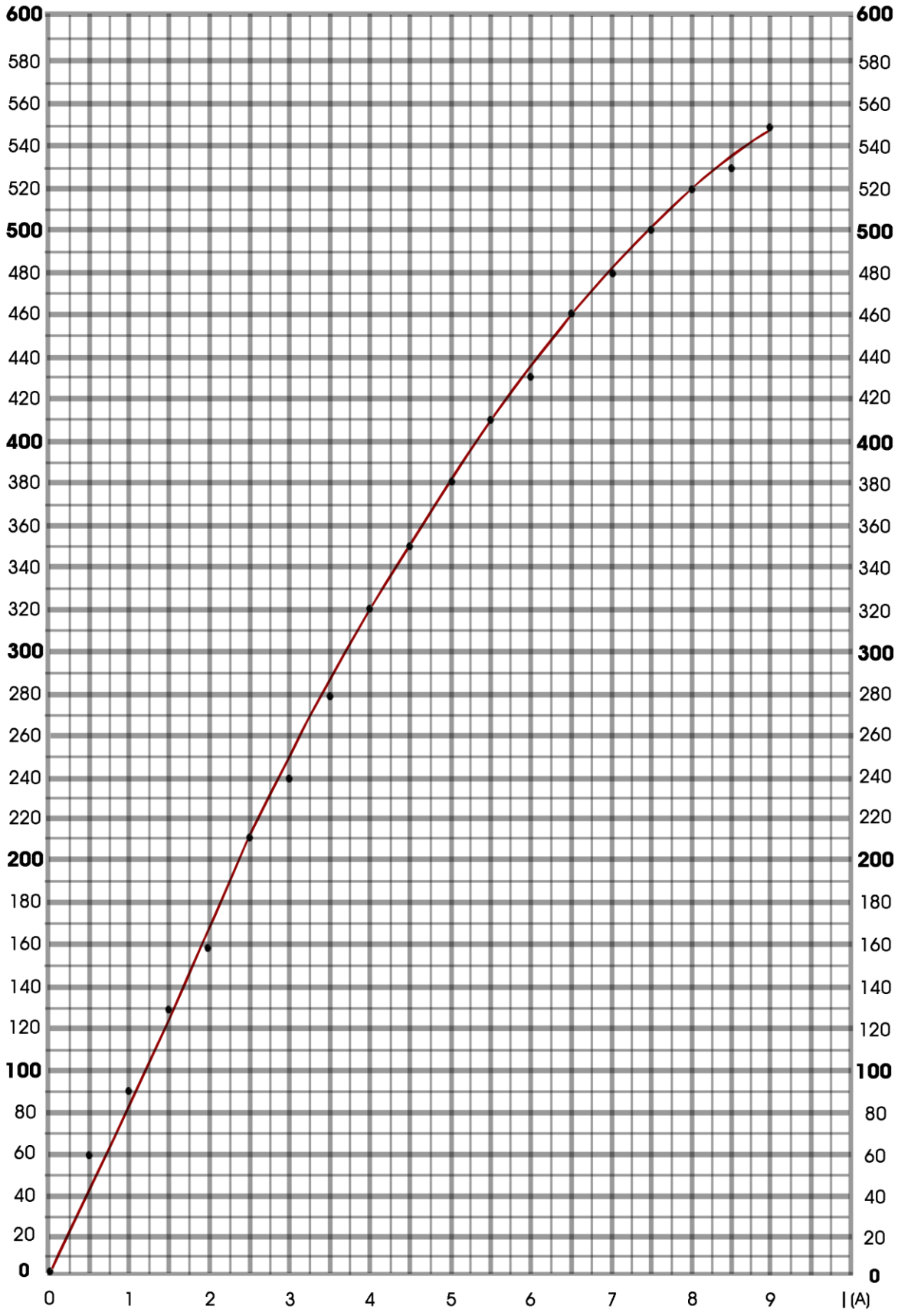
با تعیین ضریب زاویه خط و اینکه ضخامت ورقه ۳۰μm است، مقدار R_H، و با قرار دادن در رابطه:

$$R_H = \frac{۱}{ne} \Rightarrow n = \frac{۱}{eR_H}$$

چگالی حامل‌های بار در رسانای مورد آزمایش را بدست آورید.

دو آزمایش فوق را در مورد ورقه نقره‌ای مجدداً تکرار و نتایج آزمایش را در جداولی ثبت و ضرائیب هال را برای هر یک تعیین و چگالی حامل‌های بار را محاسبه و نوع حامل‌ها را معلوم نمائید.

منحنی مربوط به مگنت "اثر هال" شدت القاء مغناطیسی در محل قرار گرفتن ورقه هادی جریان وقتی که فاصلهٔ قطبین مگنت ۷^{mm} است. Gap= ۰,۷mm


600
580
560
540
520
500
480
460
440
420
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
I (A)