عنوان آزمایش:

بررسی اثر هال در نقره و مس

هدف آزمایش:

۱- صحه‌گذاری تناسب ولتاژ هال و چگالی شار مغناطیسی؛

۲- تعیین پلاریته حامل‌های بار؛

۳- محاسبه ثابت هال، R_H، و غلظت حامل بار، n.

وسایل موردنیاز آزمایش:

۱- دستگاه اثرهال (نقره و مس)؛

۲- میکرو ولتمتر؛

۳- هسته U شکل همراه با مهار؛

۴- یک جفت قطعه مخروطی قطب مغناطیسی؛

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

۶- منبع تغذیه جریان بالا؛

۷- ترانسفورماتور متغیر با ولتاژ بسیار پایین؛

۸- مولتی‌متر دیجیتال؛

۹- کابل‌های (آبی/ قرمز) در متراژ ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر به‌منظور برقراری ارتباطات الکترونیکی در چیدمان؛

۱۰- گیره چندکاره؛

۱۱- میله سه پایه ۲۵ سانتی‌متری؛

۱۲- سه پایه V شکل ۲۰ سانتی‌متری؛

دکتر فاطمه دباغ کاشانی
دانشگاه علم و صنعت ایران

تئوری آزمایش:

اگر یک نوار رسانای فلزی حامل جریان در میدان مغناطیسی B عمود بر جهت جریان I قرار داشته باشد، میدان الکتریکی عرضی، E_H، و اختلاف پتانسیل، V_H، تولید می‌شود (اثر هال). معادله زیر برای ولتاژ هال، V_H، برقرار است (به شکل (۱) مراجعه کنید).

$$V_H = \frac{1}{n \cdot e} \cdot \frac{B \cdot I}{d} \qquad (۱)$$

B=چگالی شار مغناطیسی

I=جریان عبوری از رسانای فلزی

d=ضخامت رسانای باند شکل

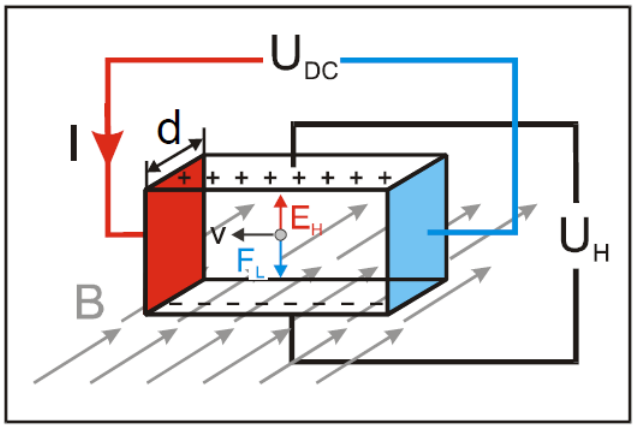
n=غلظت حامل‌های بار

e=۱٫۶۰۲×۱۰$^{-۱۹}$ C بار پایه

ولتاژ هال، V_H، از انحراف بارهای حامل در میدان مغناطیسی ناشی از نیروی لورنتس نشأت می‌گیرد که جهت آن با استفاده از قانون دست راست پیش‌بینی می‌شود. فاکتور $\frac{1}{n \cdot e}$، ثابت هال، R_H، نامیده می‌شود.

$$R_H = \frac{1}{n \cdot e} \qquad (۲)$$

علامت ثابت هال، R_H، با استفاده از پلاریته حامل‌های بار تعیین می‌شود.



شکل (۱): طرحواره‌ای اثر هال: در داخل رسانای فلزی حامل بار که در میدان مغناطیسی B واقع شده‌است، نیروی لورنتس، F_L، باعث ایجاد یک میدان الکتریکی E_H می‌شود که منجر به ولتاژ هال می‌شود(I دلالت بر جریان عرضی دارد).

ثابت هال وابسته به ماده و دما است. برای فلزات، R_H خیلی کوچک است، ولی، برای نیم‌رساناها، RH به‌اندازه کافی بزرگ است.

پلاریته حامل‌های بار می‌تواند از جهت ولتاژ هال تعیین شود. چگالی حامل‌های بار n را می‌توان به‌صورت آزمایشگاهی از ولتاژ هال، V_H، به‌صورت تابعی از میدان مغناطیسی برای جریان‌های گوناگون، I، تعیین کرد.

نکات ایمنی

۱- برای جریان‌های عرضی بیش از A ۱۰ یا جریان‌های مغناطیسی بالای A ۵، فقط ازاره باید به مدت بسیار کوتاهی روشن باشد (علت این موضوع، گرمایش بیش از حد قلع یا گرمایش بیش از حد سیم‌پیچ که برای بار بیشینه A ۵ طراحی شده‌است).

۲- در مدار جریان عرضی، از کابل مناسب استفاده کنید.

۳- چیدمان آزمایش را از جابه‌جایی‌ها[1] در حین اندازه‌گیری ولتاژ هال محافظت کنید.

روش انجام آزمایش

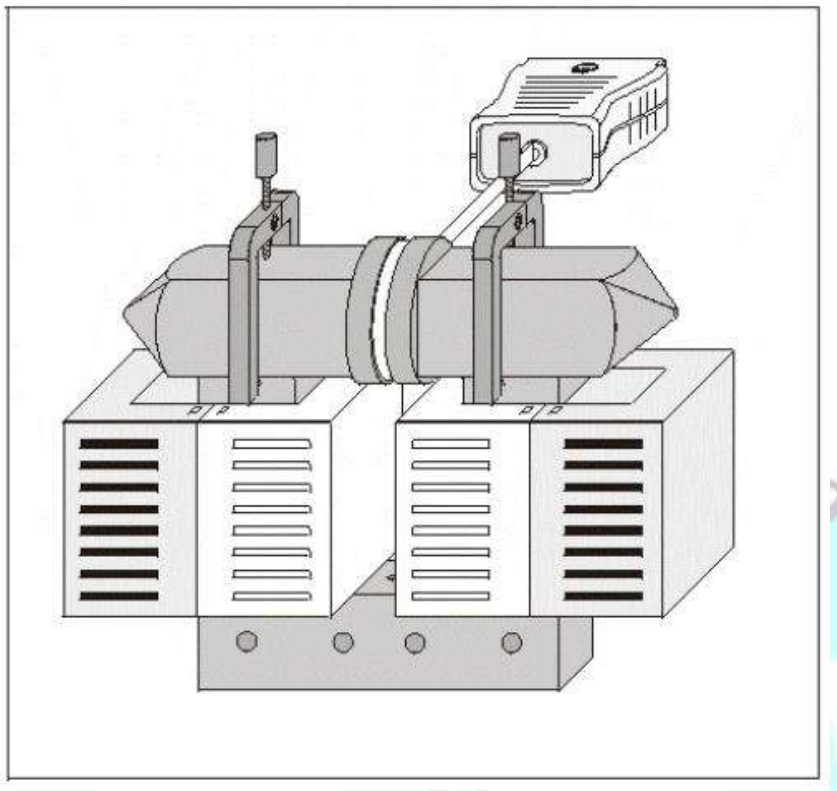
آزمایش در دو مرحله انجام می‌شود. قدم نخست کالیبره نمودن میدان مغناطیسی است.

الف- کالیبراسیون میدان مغناطیسی

۱- هسته U شکل همراه با مهار، جفت قطعه مخروطی قطب مغناطیسی و جفت سیم‌پیچ ۲۵۰ دور را مطابق شکل (۲) بچینید. فاصله بین جفت قطعه مخروطی قطب مغناطیسی را دقیقاً به اندازه ضخامت صفحه پشتیبان دستگاه اثر هال تنظیم کنید. به‌این منظور، گیره‌های افزاره را شل کرده و یک لبه دستگاه اثر هال را بین دو قطب قرار دهید. سپس جفت قطعه مخروطی قطب مغناطیسی را تا حد امکان به لبه دستگاه اثر هال نزدیک کنید. دقت کنید که این قطعات به دستگاه اثر هال نچسبند. سیم‌پیچ‌های ۲۵۰ دور را به‌صورت سری به ترانسفورماتور متغیر با ولتاژ بسیار پایین و مولتی‌متر متصل کنید. لبه دستگاه اثر هال را از بین دو قطعه مخروطی قطب مغناطیسی دور کنید. حسگر تسلامتر را به‌صورت ثابت در بین دو قطعه مخروطی قطب مغناطیسی قرار دهید (لازم به ذکر است که در این مرحله نیازی نیست که دستگاه هال در فضای بین دو قطعه مخروطی قطب مغناطیسی قرار داشته باشد).

۲- پس از قرار دادن حسگر تسلامتر در فضای بین دو قطعه مخروطی قطب مغناطیسی، جریان گذرنده از سیم‌پیچ‌ها را مطابق جدول (۱) تغییر داده و مقدار میدان مغناطیسی را ثبت کنید.

1 - Drafts



شکل (۲): طرحواره کالیبراسیون میدان مغناطیسی

نکات تکمیلی

۱- قبل از ثبت میدان مغناطیسی به‌صورت تابعی از جریان، دی‌مگنتایز کنید. این کار را گذراندن جریان I=۱ A AC از میان سیم‌پیچ‌هایی با ۲۵۰ دور در زمان کوتاه انجام دهید؛ سپس جریان را به‌صورت پیوسته و یکنواخت به صفر کاهش دهید.

۲- برای اندازه‌گیری جریان گذرنده از میان سیم‌پیچ‌ها یک آمپرمتر بین قطب مثبت ترانسفورماتور جریان و سیم‌پیچ متصل کنید.

۳- چگالی شار مغناطیسی را به‌صورت تابعی از جریان با افزایش جریان در گام‌های ۰٫۵ A DC اندازه‌گیری کنید.

ب- اندازه‌گیری ولتاژ هال به‌صورت تابعی از میدان مغناطیسی

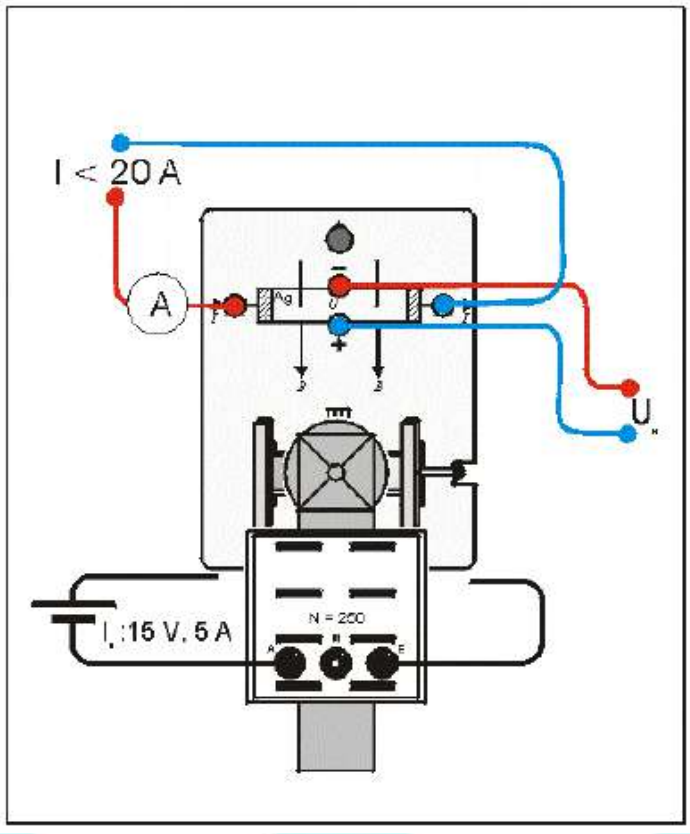
پس از ثبت منحنی کالیبراسیون، دستگاه اثر هال را در میدان مغناطیسی قرار دهید. دو قطعه مخروطی قطب مغناطیسی تا حد امکان باید در صفحه نگهدارنده نزدیک شوند (یعنی، شکاف هوا بین دو قطعه مخروطی قطب مغناطیسی باید تا حد امکان باریک بوده و با پهنای شکاف هوایی که در ثبت منحنی کالیبراسیون وجود دارد، یکسان باشد.

جدول (۱): میدان مغناطیسی، B، به‌صورت تابعی از جریان گذرنده از میان سیم‌پیچ.

I(A)	B(mT)
۰	
۰/۵۰	
۱/۰۰	
۱/۵۰	
۲/۰۰	
۲/۵۰	
۳/۰۰	
۳/۵۰	
۴/۰۰	
۴/۵۰	
۵/۰۰	
۵/۵۰	
۶/۰۰	
۶/۵۰	
۷/۰۰	
۷/۵۰	
۸/۰۰	
۸/۵۰	
۹/۰۰	
۹/۵۰	

برای اندازه‌گیری ولتاژ هال میکرو ولتمتر را به پورت مربوطه روی صفحه نگهدارنده دستگاه اثر هال متصل کنید.

همانگونه‌که در شکل (۳) نشان داده شده‌است، دستگاه اثر هال را به منبع جریان بالا متصل کنید. جهت میدان مغناطیسی باید مشابه آنچه باشد که روی صفحه نگهدارنده نشان داده شده‌است. برای اندازه‌گیری جریان I گذرنده از میان سیم‌پیچ از مولتی‌متر استفاده کنید.



شکل (۳): چیدمان آزمایش (نمودار سیم‌کشی) برای اثر هال

نکات تکمیلی

۱- دستگاه اثر هال را بین دو قطعه مخروطی قطب مغناطیسی قرار دهید.

۲- قبل از آن‌که دستگاه اثر هال را در معرض میدان مغناطیسی قرار دهید، نقطه صفر را روی میکرو ولتمتر تنظیم کنید. جریان عرضی I، به‌طور مثال A ۱۰، را اعمال کنید و نشانگر سنجنده را برای اندازه‌گیری ولتاژ هال، U_H، با استفاده از دکمه تنظیم به صفر تنظیم کنید. اگر نمایشگر پس از خاموش کردن تغییر کرد، جریان عرضی را روشن کرده و تنظیم نقطه صفر را مجدداً تکرار کنید.

۳- جریان عرضی A ۱۰ را به دستگاه اثر هال اعمال کنید و ولتاژ هال را به‌صورت تابعی از میدان مغناطیسی اندازه‌گیری کرده و در جدول (۲) ثبت کنید (مقدار میدان مغناطیسی مؤثر را از منحنی کالیبراسیون بخش (الف) بخوانید). آزمایش را چندین بار تکرار کرده تا مقدار میانگین ولتاژ اثر هال V_H را اندازه‌گیری کنید.

۴- اندازه‌گیری‌ها را برای جریان عرضی A ۱۵=I مجدداً تکرار کرده و جدول (۲) را تکمیل کنید.

۵- نمودار V_H بر حسب B(T) را برای دو جریان A ۱۰ و A ۱۵ رسم کرده و شیب خط را به‌دست آورید.

۶- مقدار حامل‌های بار را با استفاده از شیب خط به‌دست آورید.

نکته: مقدار بیشینه جریان عرضی گذرنده از دستگاه اثر هال وابسته به دستگاه بوده و با تغییر دستگاه تغییر خواهد کرد.

جدول (۲): ولتاژ هال(قدر مطلق) به‌صورت تابعی از جریان گذرنده از میان سیم‌پیچ (میدان مغناطیسی) در دو جریان عرضی متفاوت.

I_T=۱۰ A			I_T=۱۵ A		
I(A)	**B(mT)**	**V_H(μV)**	**I(A)**	**B(mT)**	**V_H(μV)**
۰					
۰/۵۰					
۱/۰۰					
۱/۵۰					
۲/۰۰					
۲/۵۰					
۳/۰۰					
۳/۵۰					
۴/۰۰					
۴/۵۰					
۵/۰۰					
۵/۵۰					
۶/۰۰					
۶/۵۰					
۷/۰۰					
۷/۵۰					
۸/۰۰					
۸/۵۰					
۹/۰۰					
۹/۵۰					

ج- اندازه‌گیری ولتاژ هال به‌صورت تابعی از جریان عرضی

۱- با توجه به نکات ارائه‌شده در بخش (ب)، آزمایش را برای میدان مغناطیسی معادل جریان A ۴/۵ و جریان عرضی صفر تا A ۱۰ در گام‌های A ۰/۵ انجام داده و جدول (۳) را تکمیل کنید.

۲- نمودار V_H را برحسب I(A) رسم کنید. شیب خط را به‌دست آورده و با استفاده از سیب خط مقدار حامل‌ها را به‌دست آورید.

جدول (۳): ولتاژ هال (قدرمطلق) به‌صورت تابعی از جریان عرضی در میدان مغناطیسی، B، ثابت.

B(mT)=	
I(A)	$V_H(\mu V)$
۰	
۰/۵۰	
۱/۰۰	
۱/۵۰	
۲/۰۰	
۲/۵۰	
۳/۰۰	
۳/۵۰	
۴/۰۰	
۴/۵۰	
۵/۰۰	
۵/۵۰	
۶/۰۰	
۶/۵۰	
۷/۰۰	
۷/۵۰	
۸/۰۰	
۸/۵۰	
۹/۰۰	
۹/۵۰	
۱۰/۰۰	

دکتر فاطمه داغ کاشانی
دانشگاه علم و صنعت ایران