

اثر هال در فلزات Hall Effect

۱ هدف آزمایش

- (۱) تعیین علامت بار حاملهای جریان در فلزات
- (۲) تعیین چگالی حاملهای بار در یک فلز
- (۳) بررسی رابطه خطی بین پتانسیل هال و میدان مغناطیسی اعمال شده به تیغه هال

۲ تئوری آزمایش

در سال ۱۸۷۹، هال در دانشگاه هاروارد آزمایشی را انجام داد و طی آن علامت حاملهای بار داخل رسانا را تعیین کرد. اگر یک نوار فلزی به پهنای d حامل جریان، در یک میدان مغناطیسی عمود بر راستای جریان قرار گیرد، یک میدان الکتریکی و یک پتانسیل عرضی در نوار ایجاد می شود. این پدیده به اثر هال موسوم است. برای بررسی کمی این اثر ما از مدل الکترون آزاد فلز استفاده می کنیم می توان فرض کرد که حاملهای بار با سرعت سوق ثابت v_d در طول رسانا حرکت می کنند. نیروی

منحرف کننده مغناطیسی که باعث سوق یافتن حاملهای متحرک بار به یک طرف نوار می شود از نیروی $F = qvB$ بدست می آید. حاملهای بار به طور نامحدود در یک سوی نوار جمع نمی شوند زیرا میدان الکتریکی عرضی E_H با سوق جانبی حاملها مخالفت می کند. رابطه بین میدان الکتریکی E_H و پتانسیل U_H را می توان به صورت زیر نوشت

$$E_H = \frac{U_H}{d} \quad (۱)$$

در حالت تعادل، نیروی منحرف کننده مغناطیسی جانبی وارد بر حاملهای بار با نیروی الکتریکی qE_H برابر می شود، لذا می توان نوشت

$$qE_H + qv_d \times B = 0 \quad (۲)$$

و یا معادله

$$E_H = -v_d \times B \quad (۳)$$

که به طور ضمنی نشان می دهد که با اندازه گیری E_H و B می توانیم بزرگی و جهت v_d را بیابیم که به دنبال آن نوع حاملهای بار مشخص می شود.

از اندازه گیریهای مربوط به اثر هال همچنین می توان تعداد حاملهای بار در واحد حجم n را بدست آورد. اگر معادله (۳) را بر حسب بزرگی مقادیر و برای حالتی که v_d و B بر هم عمودند بنویسیم، داریم $E_H = v_d B$ و با توجه به تعریف سرعت سوق، $v_d = j/ne$ خواهیم داشت

$$E_H = \frac{jB}{ne} \quad \text{یا} \quad n = \frac{jB}{eE_H} \quad (۴)$$

توافق بین تجربه و معادله بالا برای فلزات یک ظرفیتی نسبتاً خوب است، ولی در مورد فلزات چند ظرفیتی باید به نظریه کوانتومی تکیه کرد و معادله بالا از دقت چندان زیاد برخوردار نیست.

اگر در معادله (۴) به جای E_H مقدار U_H/d و به جای j مقدار i/dh را قرار دهیم، داریم

$$U_H = \frac{iB}{neH} \quad (5)$$

که در آن h ضخامت نوار است. در این رابطه $1/ne$ به ثابت هال موسوم است که با R_H به صورت زیر نمایش می دهند

$$R_H = \frac{1}{ne} \quad (6)$$

نوار فلزی مورد استفاده در این آزمایش نقره و تنگستن است.

(۱) برای این دو فلز ملاحظه می شود که U_H تقریباً با میدان مغناطیسی B متناسب است.

(۲) نوع بار الکتریکی حاملهای باری که مسئول اصلی جریان می باشند توسط جهت ولتاژ هال تعیین می شود.

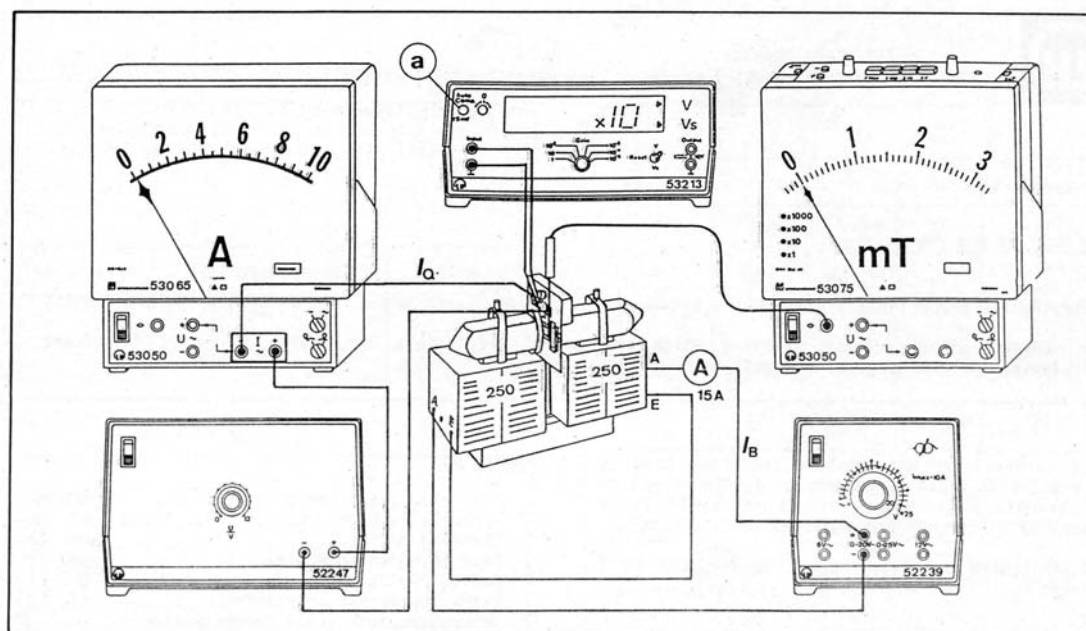
همانطور که ذکر شد ولتاژ U_H به وسیله حاملهای بار متحرک در میدان مغناطیسی توسط نیروی لورنتس ایجاد می شود و جهت را می توان به وسیله قانون دست راست پیش بینی کرد.

۳ روش آزمایش

احتیاط! برای جریانهای عبوری (I_Q) بیشتر از ۱۵ آمپر و جریان میدانی (I_B) بیشتر از ۵ آمپر تنها برای مدت کوتاهی مدار را متصل نگه دارید. در غیر اینصورت سیمهای رابط بیش از حد گرم و سیم پیچها که برای جریان بیشینه ۵ آمپر طراحی شده حساسیت خود را از دست خواهد داد.

برای جریانهای I_Q حدود ۲۰ آمپر از سیمهای متناسب با چنین جریانی استفاده شود. به عنوان نمونه از سیم مدل 20-29 501 استفاده کنید.

ابتدا مدار را مطابق شکل (۱)، اما بدون دستگاه اثر هال متصل نمایید. در این قسمت قطبهای مغناطیسی را طوری به هم نزدیک کنید که فاصله آنها برابر با ضخامت ورقه محافظ تیغه هال باشد.



شکل (۱)

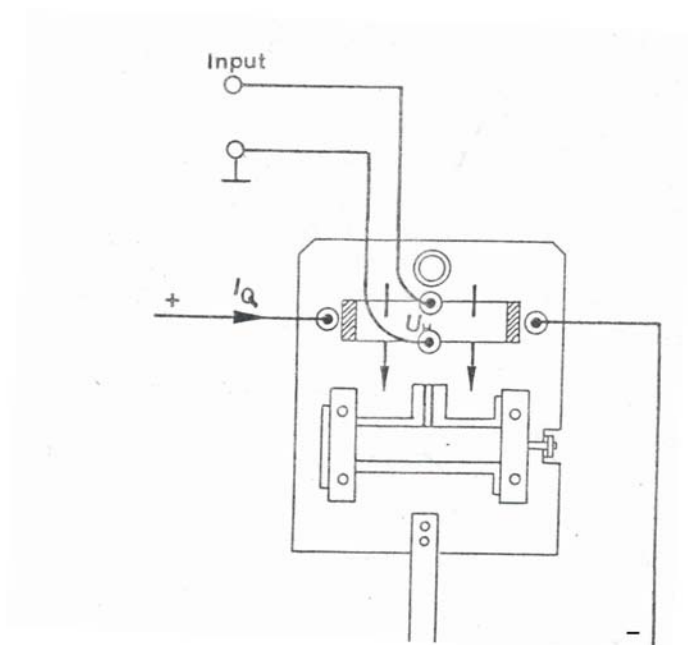
برای این کار گیره نگهدارنده قطبها را شل کنید و یک لبه ورقه نگهدارنده تیغه هال را بین دو قطب قرار دهید و دو قطب را طوری به هم فشار دهید که از هر طرف ورقه به آن مماس باشد و آنگاه گیره‌ها را محکم کنید.

الف) رسم منحنی کالیبراسیون B بر حسب I_B :

ابتدا به مدت کوتاهی یک جریان ۵ آمپر را در سیم پیچها اعمال نمایید. (توضیح دهید دلیل این کار چیست؟) پس از آن با استفاده از تسلا متر میدان مغناطیسی B را به صورت تابعی از جریان I_B اندازه گرفته و جدول زیر را کامل کنید. نمودار میدان بر حسب جریان را رسم نمایید.

ب) رسم منحنی U_H بر حسب B به ازای جریان عبوری ثابت I_Q :

مدار را مطابق شکل (۱)، در حالی که دستگاه اثر هال در سیستم قرار دارد، تنظیم نمایید. در این حالت هم قطبها را طوری به هم نزدیک کنید که به ورقه محافظ تیغه هال تا آنجا که ممکن است نزدیک شود. در حقیقت فاصله دو قطب باید برابر حالت الف باشد. دستگاه هال را به میکرو ولنمتر



شکل (۲)

I بر حسب آمپر	B بر حسب تسلا	I بر حسب آمپر	B بر حسب تسلا
۰	۵	۵	۵
۰.۵	۵.۵	۵.۵	۵.۵
۱	۶	۶	۶
۱.۵	۶.۵	۶.۵	۶.۵
۲	۷	۷	۷
۲.۵	۷.۵	۷.۵	۷.۵
۳	۸	۸	۸
۳.۵	۸.۵	۸.۵	۸.۵
۴	۹	۹	۹
۴.۵	۹.۵	۹.۵	۹.۵
۵	۱۰	۱۰	۱۰

جدول ۱:

مطابق شکل (۲) وصل نمایید. جهت میدان باید مطابق با جهتی که روی دستگاه هال نمایش داده شده است باشد. حساسیت میکرو ولتметр را روی حالت ۵ بگذارید. جریان دلخواه I_Q را اعمال کنید، در حالی که هنوز جریان I_B صفر است. در این حالت مدتی صبر کنید و پس از آنکه میکرو ولتметр تقریباً ثابت شد با فشار دادن دکمه a میکرو ولتметр را صفر کنید. جریان مغناطیسی I_B را اعمال کنید و دوباره به صفر تقلیل دهید. در این حالت نقطه صفر میکرو ولتметр را کنترل کنید و چنانچه نوسانی در صفر میکرو ولتметр مشاهده کردید آن را در تمام مدت آزمایش در نظر بگیرید. ولتاژ U_H را برای هر شدت جریان I_B اندازه بگیرید، دقت کنید که جریان دقیقاً همان جریانهای در قسمت الف باشد. شدت میدان مغناطیسی B نظیر هر جریان را از مرحله (الف) مشخص نموده و U_H را به صورت تابعی از B رسم کنید. برای رسم بهترین خط از روش کوچکترین مربعات استفاده کنید.

مراحل آزمایش قسمت (ب) را با یک جریان دلخواه دیگر I_Q تکرار کنید و منحنی U_H را برای این جریان عبوری بر حسب B رسم نمایید.

ج) قطبیت حاملهای بار:

برای دستگاه نمایشی در شکل (۲) میکرو ولتметр مقادیر منفی را نمایش می دهد، بنابراین قسمت بالای نوار هال در مقایسه با قسمت پایین آن منفی است. اگر قانون دست راست را بکار ببریم متوجه می شویم که مکانیزم انتقال بار برای نقره بوسیله حاملهای بار منفی انجام می شود. در سال ۱۹۱۶ لومن (Loman) دلیل مشخصی ارائه کرد که نشان داد حاملهای بار در فلزات الکترون می باشد.

د) محاسبه چگالی حاملهای بار و ثابت هال:

با استفاده از نمودار رسم شده در قسمت (ب) و به کمک معادله (۵)، چگالی حاملهای بار در نقره را محاسبه کنید و ثابت هال را تعیین نمایید. مقدار n محاسبه شده را با مقادیر داده شده در منابع علمی مقایسه کنید.

ه) اثر هال در تنگستن:

تمام مراحل (الف) تا (د) را برای نوار تنگستن تکرار کنید.