آزمایشگاه فیزیک حالت جامد

شماره آزمایش:۳

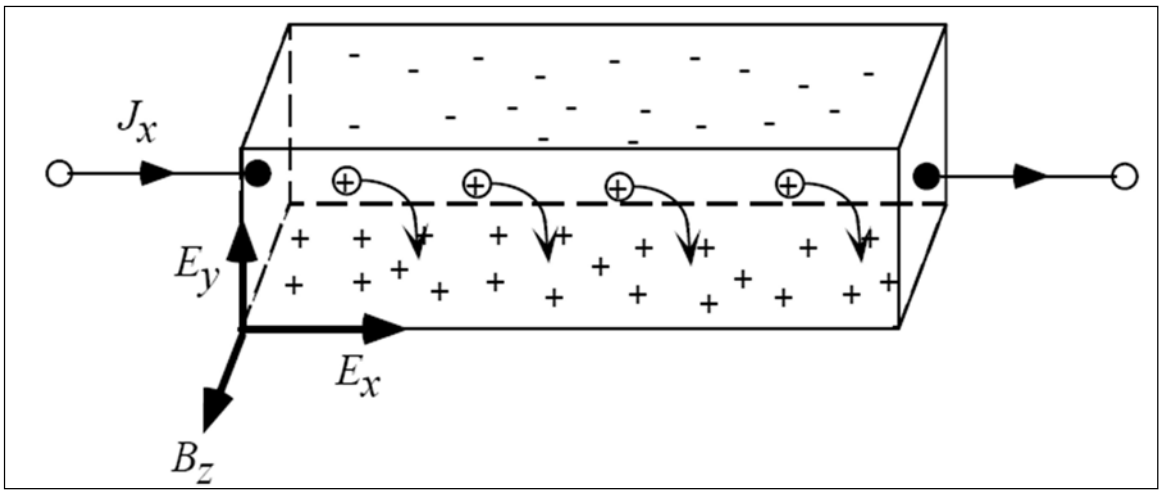
اثر هال

هدف: بررسی پدیده هال در فلزات و محاسبه n چگالی حامل بار

مقدمه:

اگر یک هادی یا نیمه‌هادی که جریان I از آن عبور می‌کند، در یک میدان مغناطیسی عمود بر جهت جریان قرار گیرد، یک میدان الکتریکی در آن عمود بر جهت جریان و جهت میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود که عامل به وجود آمدن اختلاف پتانسیلی به نام پتانسیل هال است.

برای مثال شکل (۱) را در نظر می‌گیریم که یک قطعه‌ی نیم‌رسانا (P-type) است. چگالی جریان J در جهت x و میدان مغناطیسی B در جهت z است. به حفره‌ها نیرویی وارد خواهد شد (نیروی لورنتس) که آنها را به طرف ته قطعه می‌راند. جهت نیرو با استفاده از قانون لورنتس و با توجه به قانون دست راست تعیین می‌شود، $(F=e\mathbf{V}\times\mathbf{B})$.



شکل ۱

این انتقال بار باعث می‌شود که سطح زیرین، بار مثبت و سطح بالا، بار منفی پیدا کند. انتقال بار تا جایی ادامه می‌یابد که اندازه‌ی نیروی الکتریکی ناشی از جذب بارهای مخالف و دفع بارهای همنام (مطابق شکل ۱ که به حفره‌ها وارد شده)، دقیقاً با اندازه‌ی نیروی لورنتس برابر شده و باعث حذف اثر آن شود، (رابطه (۱)):

$$eE_y=eV_xB_z \qquad (۱)$$

در این رابطه V_x سرعت حفره بر حسب m/s و B_z میدان مغناطیس بر حسب تسلا است. اگر J چگالی جریان در واحد سطح و p تعداد حفره در واحد حجم باشد، داریم:

$$J_x=epV_x \qquad (۲)$$

پس طبق رابطه (۳) داریم:

$$eV_x = J_x/p \qquad (۳)$$

با قرار دادن این رابطه در رابطه‌ی (۱) بدست می‌آید:

$$E_y=J_xB_z/ep \qquad (۴)$$

اگرسطح مقطع قطعه (عمود بر محورx) A ، d_y قطر در جهت y و d_z در جهت z ، باشد، با توجه به اینکه $V_y = E_yd_y$ و $I_x=J_xA$ ، مقاومت هال و ولتاژ هال به این صورت تعریف می‌شود:

$$R_H=E_y/J_xB_z=AV_y/(d_yI_xB_z)=V_yd_z/ I_xB_z =1/ep \qquad (۶)$$

$$V_y=U_H=(-1/en)\times(BI/d) \qquad (۵)$$

به طور مشابه برای یک نیمه رسانای n-type یا یک رسانا، مقاومت هال محاسبه می‌شود و به دست می‌آید:

$$R_H = -1/en \qquad (۷)$$

(علامت منفی به علت منفی بودن بار حامل جریان غالب، یعنی الکترون، است.)

به این ترتیب با اندازه‌گیری مقاومت هال، نوع حامل بار غالب (حفره یا الکترون) و چگالی حاملهای بار را می‌توان تعیین کرد.

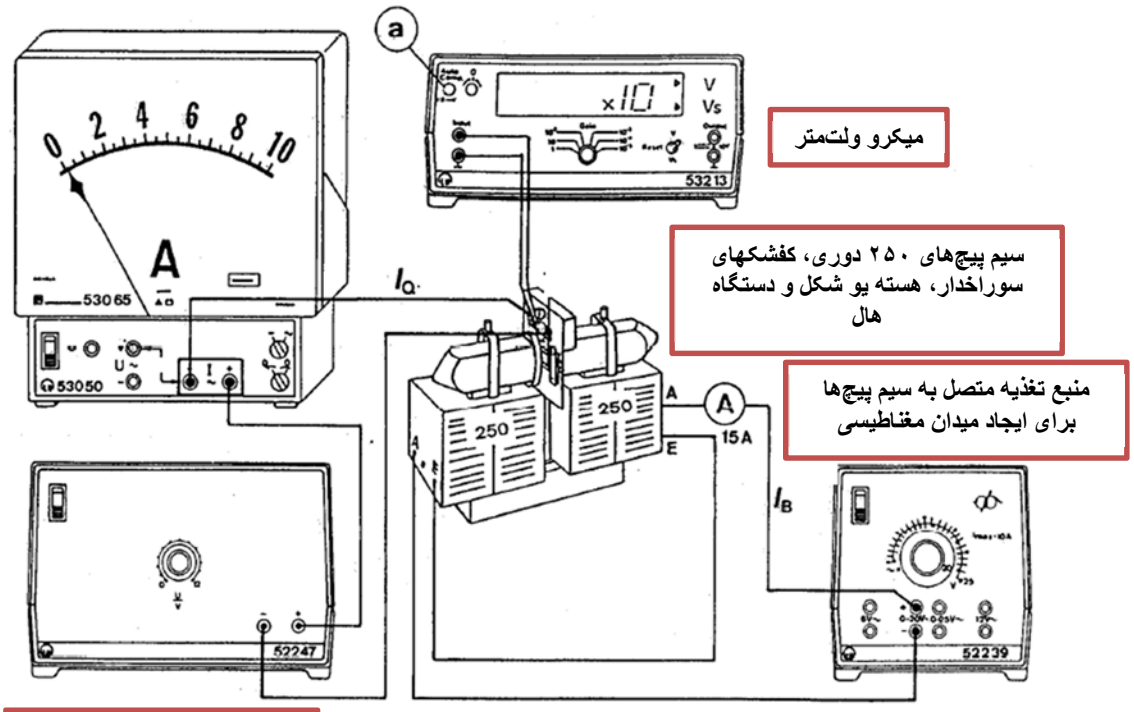
وسایل آزمایش:

هسته U شکل، جفت کفشک‌های سوراخ‌دار، سیم پیچ‌های ۲۵۰ دوری، منبع تغذیه ۲۵-۰ ولت/ ۱۰ آمپر، منبع تغذیه ۲۰-۰ ولت/ ۵ آمپر، میکرو ولت‌متر، سیم‌های رابط.

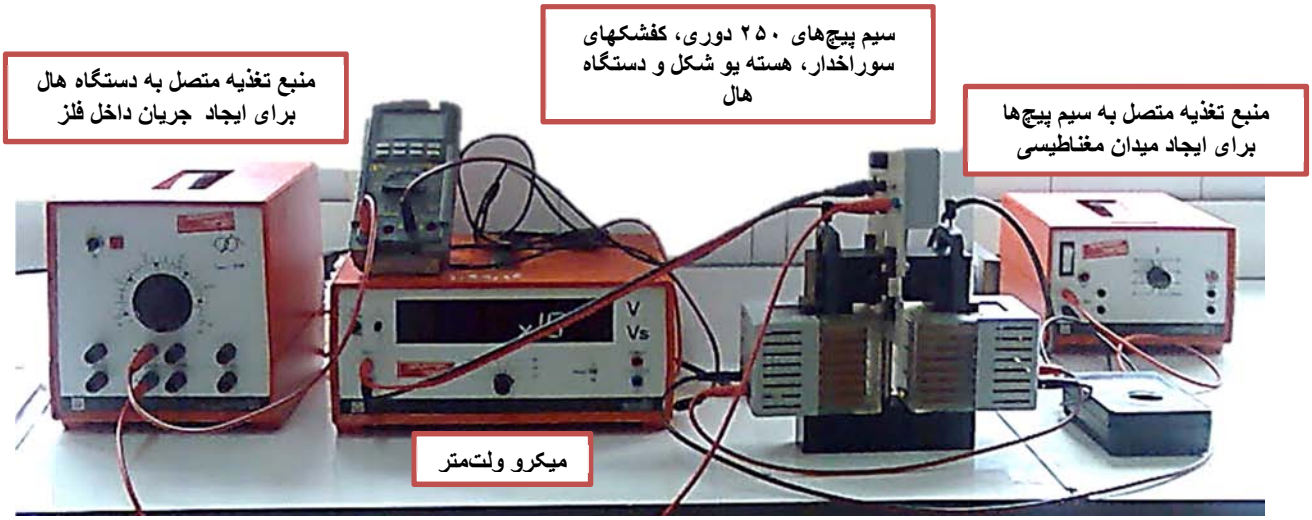
- ورقه فلزی استفاده شده در این آزمایش از جنس نقره است.

تنظیم دستگاه آزمایش:

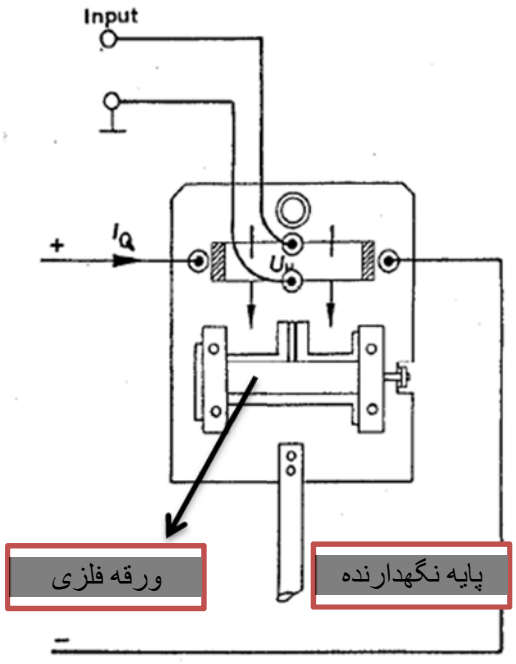
دستگاه آزمایش را مطابق شماتیک شکل ۲ و عکس نمایش داده شده در شکل ۳ زیر و با راهنمایی مسئول آزمایشگاه ببندید. کفشک‌های آهنربای الکتریکی را با تنظیم دقیق فاصله تا حد ممکن به دستگاه پدیده هال که شامل ورقه فلزی نقره است، نزدیک و مماس کنید (از مرتبه ضخامت ورقه فلزی ۵×۱۰^{-۵} متر).



شکل ۲



شکل (۳)



شکل (۴) دستگاه هال

❖ تنظیم صفر میکرو ولتمتر بسیار اهمیت دارد.

برای این کار، میکرو ولتمتر را روشن کرده و فیش ورودی آن را جدا کنید. آن را در حالت reset قرار داده و ۱۰ دقیقه صبر کنید تا دستگاه گرم شود. آنگاه آن را در حالت V قرار داده و با چند بار فشار دکمه آفست، دستگاه را صفر کنید. در واقع از داخل دو سر ورودی اتصال کوتاه می شود. درآخر فیش‌های ورودی را به میکرو ولتمتر وصل کنید.

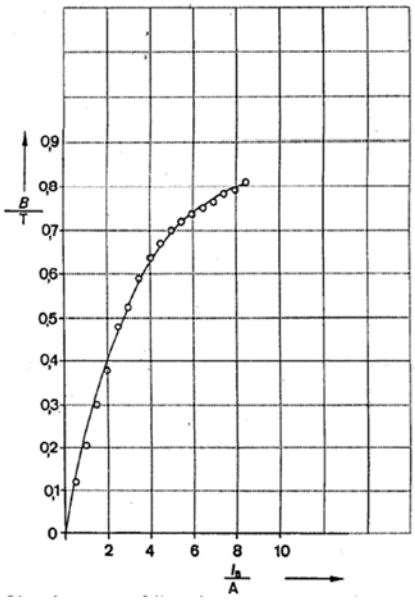
روش آزمایش:

ابتدا برای خنثی کردن هسته‌ی آهنی از نظر مغناطیسی ، یک جریان AC را در سیم پیچ‌ها برای مدت کوتاهی برقرار کنید (I_B) و سپس منبع را خاموش کنید.

منبع تغذیه متصل به قطعه‌ی هال (I) را روشن کنید و میکرو ولت‌متر را روی صفر تنظیم کنید. حالا منبع جریان متصل به سیم‌پیچ‌ها (I_B) را روشن کنید. جریان عبور کننده از نمونه (I) را بر روی مقدار ۶ آمپر ثابت تنظیم کنید و مقدار جریان عبورکننده از سیم‌پیچ‌ها (I_B) را از ۰/۵ تا ۵ آمپر با گام‌های ۰/۵ آمپر تغییر دهید و در هر مرحله مقدار ولتاژ هال را از روی میکرو ولت متر ثبت کنید.

این کار را برای چند مقدار دیگر (I= 8.5 A, 5 A) تکرار کنید. رابطه‌ی I_B با قدرت میدان مغناطیسی B عبور کننده از نمونه را با استفاده از نمودار شکل ۵ بدست آورید.

I in A	B in T
0	0
0,5	0,118
1	0,200
1,5	0,295
2	0,374
2,5	0,455
3	0,520
3,5	0,585
4	0,630
4,5	0,665
5	0,695
5,5	0,715
6	0,735
6,5	0,748
7	0,760
7,5	0,780
8	0,790
8,5	0,800
9	0,810



شکل ۵

پلاریته حاملهای بار و تحقیق خاصیت حاصلضربی اثر هال.

چون داریم $V_y=U = R_H I_x B_z /d_z$ با در نظر گرفتن علامت و جهت B ، I و U علامت R_H را می توان تعیین کرد. با توجه به قانون دست راست علامت R_H و در نتیجه نوع حامل بار در هر نمونه موجود را تعیین کنید. توجه کنید که با هر تغییر جهت I یا B علامت U عوض می شود. مقدار جریان I_B=5A و I=4 A قرار داده و قانون حاصلضربی را مطابق جدول زیر با ثبت علامت ولتاژ هال بدست آورید.

I	+	+	-	-
B	+	-	+	-

خواسته های آزمایش:

۱- مقادیر R_H و n را بدست آورید و با مقدار ثبت شده در جداول استاندارد مقایسه کنید. (ضخامت ورقه فلزی را ۵×۱۰^{-۵} متر در نظر بگیرید.)

۲- میزان خطا در سوأل قبل را بدست آورید و علتهای احتمالی را ذکر کنید.

۳- چرا نمونه فلزی به‌کار رفته به شکل یک ورقه نازک فلزی انتخاب شده است؟

۴- تغییر درجه حرارت چه اثری در ولتاژ هال برای رساناها و نیم رساناها ایجاد می‌کند؟

۵- اثر کوانتومی هال را بطور مختصر شرح دهید.

۶- دو نمونه از کاربردهای اثر هال را بنویسید.