

تئوری

در سال ۱۸۷۹/۱۲۵۸ هال در دانشگاه هاروارد آزمایشی را انجام داد و در آن علامت حامل‌های بار داخل رسانا را تعیین کرد. در این آزمایش هدف ما نیز تعیین علامت حامل‌های بار داخل رسانا یا (نیم رسانا) می‌باشد که به این آزمایش آزمایش اثر هال می‌گویند.

طبق معمول جهت حرکت حامل بار مثبت (حفره‌ها) را جهت جریان در نظر می‌گیریم و جهت حرکت حامل‌های بار منفی (الکترون‌ها) را در خلاف جهت جریان.

اثر هال از حرکت ذرات باردار در دو میدان توأم الکتریکی و مغناطیسی (خارجی) ناشی می‌شود وقتی یک جریان الکتریکی در طول رسانا یا نیمه رسانای تیغه‌ای شل برقرار شود و این رسانا یا نیم رسانا در میدان مغناطیسی عمود بر سطح تیغه قرار داشته باشد (این میدان مغناطیسی ناشی از قرارگیری تیغه میان ۲ قطب آهنربای الکتریکی است) برهمکنش حامل‌های بار و میدان مغناطیسی موجب می‌شود که یک اختلاف پتانسیل الکتریکی (اختلاف پتانسیل الکتریکی هال)، به تدریج در راستای عمود بر میدان مغناطیسی و جریان الکتریکی در رسانا (یا نیم رسانا) بوجود آید. که در این آزمایش می‌توان با استفاده از علامت اختلاف پتانسیل الکتریکی هال، به نوع حامل بار پی برد.

فرض کنید که در یک تیغه‌ی رسانا (در این آزمایش از تیغه‌ی Al و Ag استفاده می‌کنیم) به شکل مکعب مستطیل و به سطح مقطع ab که عرض آن A می‌باشد، جریان الکتریکی به شدت I در راستای محور x برقرار باشد. پس از برقراری جریان الکتریکی که به وسیله‌ی منبع خارجی تأمین می‌شود، حامل‌های بار یک سرعت سوق v_d پیدا می‌کنند که در مورد الکترون‌ها در خلاف جهت جریان در مورد حفره‌ها در جهت جریان است.

هرگاه مثبت تیغه حامل جریان به مثبت میکرو ولت‌متر پروب هال وصل شود و منفی تیغه به منفی پروب هال وصل شود در این صورت اگر علامت پتانسیل هال مثبت باشد آنگاه حامل‌های بار حفره‌ها هستند و اگر علامت پتانسیل هال منفی باشد در این صورت حامل‌های بار الکترون‌ها هستند.

آزمایش نشان می‌دهد که در فلزات، حامل‌های بار الکترون‌ها هستند همانطور که قبلاً بیان شد حامل انبار با سرعت سوق ثابت v_d در طول رسانا حرکت می‌کنند. نیروی منحرف کننده‌ی مغناطیسی که باعث سوق یافتن حامل‌های متحرک بار به طرف یکی از لبه‌های نواری می‌شود در این حالت جدایی بارها باعث ایجاد میدان الکتریکی عرض هال، E_H می‌شود که در داخل رسانا با سوق حامل‌ها به طرف لبه مخالف می‌کند. این میدان الکتریکی هال، تجلی دیگری از اختلاف پتانسیل هال است.

وقتی که میدان الکتریکی هال بوجود آمد بر حامل‌های بار علاوه بر نیروی مغناطیسی خارجی، نیروی الکتریکی هال نیز وارد می‌شود که این دو نیرو هم راستا ولی در خلاف جهت هم می‌باشند که نیروی هال از رابطه‌ی $F_H = qE_H$ بدست می‌آید. هرگاه دو نیروی ناشی از میدان الکتریکی هال و نیروی مغناطیسی اعمال شده مساوی هم شوند حامل‌های بار دیگر تمایلی به تجمع در اطراف تیغه نشان نمی‌دهند و حالت تعادل برقرار می‌شود و افزایش اختلاف پتانسیل متوقف می‌شود. البته اگر شدت میدان مغناطیسی افزایش یابد. حامل‌های بار بیشتری به طرف لبه منحرف می‌شوند در نتیجه اختلاف پتانسیل هال افزایش می‌یابد.

همان‌طور که در بالا گفته شد هنگامی تعادل برقرار می‌شود که نیروی منحرف کننده‌ی مغناطیسی وارد بر حامل‌های بار، با نیروی الکتریکی (qE_H) حاصل از میدان الکتریکی هال خنثی شود یعنی:

$$qE_H + qv_d \times B = 0$$

از این مرحله به بعد حامل‌های بار چنان حرکت می‌کنند که گویی فقط تحت تأثیر میدان الکتریکی اعمال شده هستند که می‌توان معادله‌ی بالا را به صورت زیر نوشت:

$$\vec{E}_H = -\vec{v}_d \times \vec{B}$$

این معادله به طور ضمنی نشان می‌دهد که با اندازه‌گیری E_H و با داشتن B ، بزرگی و جهت v_d را می‌توان به دست آورد.

که داریم:

$$-v_d = B \times E_H$$

$$v_d = E_H \times B$$

با معلوم بودن جهت v_d ، علامت حامل‌های بار به راحتی مشخص می‌شود.

تعداد حامل‌های بار در یکای حجم (n) را می‌توان از اندازه‌گیری‌های مربوط به اثر هال نیز بدست آورد. اگر معادله‌ی $-v_d = B \times E_H$ را برحسب بزرگی مقادیر، برای حالتی که v_d و B برهم

عمودند بنویسیم داریم $v_d = E_H \times B$. از ترکیب این معادله با معادله‌ی $(v_d = \frac{i}{nAe} = \frac{j}{ne})$

$$E_H = vdB \rightarrow vd = \frac{E_H}{B}$$

$$vd = \frac{J}{ne}$$

$$\frac{E_H}{B} = \frac{J}{ne} \rightarrow n = \frac{JB}{E_H e}$$

$$E_H = \frac{JB}{ne} \text{ یا}$$

از طرفی تجربه نشان داده است که در مواقعی که میدان مغناطیسی خیلی قوی نیست، V_H با القای مغناطیسی B و شدت جریان I و عکس ضخامت تیغه متناسب است.
(b طول تیغه و a عرض تیغه است)

$$V_H = C_H B I / b = C_H B J a$$

که در آن $J = \frac{L}{ab}$ چگالی متوسط جریان حامل های بار در نمونه است که با شدت میدان الکتریکی E متناسب $J = gE$ که در آن g رسانایی ویژه خوانده می شود.

ضریب C_H ، به جنس ماده مورد آزمایش بستگی دارد و به آن ثابت هال می گویند. تمام این کمیت ها به آسانی قابل اندازه گیری هستند و در نتیجه ثابت هال بدست می آید. در بالا اشاره کردیم که چگالی جریان در هر رسانا عبارت است از $J = nev_d$ که در آن n غلظت الکترون ها (تعداد الکترون ها در واحد حجم نمونه است) از ترکیب روابط بالا خواهیم داشت:

$$E_H = \frac{V_H}{a}$$

$$V_H = E_H a \quad (1)$$

$$E_H = v_d B = \frac{J}{ne} B \quad (2)$$

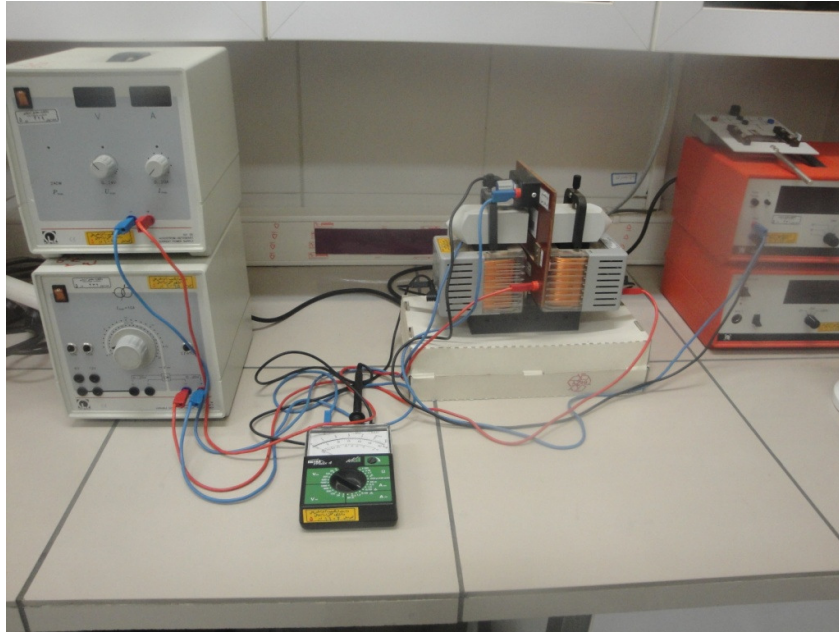
$$V_H = \frac{aJ}{ne} \quad (3)$$

بنابراین به طور نظری برای V_H رابطه ای بدست می آید که با آنچه از آزمایش حاصل شده بود سازگار است پس ثابت هال عبارت است از:

$$V_H = C_H I B / b$$

$$\frac{1}{ne} B J a = C_H I B / b$$

$$C_H = \frac{\frac{1}{ne} B J a b}{I B} = \frac{1}{ne} \Rightarrow C_H = \frac{1}{ne}$$



وسایل آزمایش:

- ۱- منبع تغذیه (ولتاژ مستقیم با ماکزیمم جریان $10A$ ، ولتاژ متناوب $I = 10A, 12V$)
- ۲- دستگاه پروب هال (مشخصات: جریان لازم $I = 20A$ مستقیم، میدان مغناطیسی $0.01 - 0.6T$)
- ۳- میکرو ولت متر
- ۴- تسلا متر
- ۵- منبع ولتاژ و تیغه‌های فلزی از جنس مس و تنگستن
- ۶- دو عدد سیم پیچ با دور زیاد (برای تولید میدان مغناطیسی)
- ۷- آمپر متر
- ۸- مقداری سیم رابط و پروب

روش کار:

ابتدا مدار را مطابق شکل می‌بندیم و با استفاده از پروب نقره‌ای هال مراحل زیر را انجام می‌دهیم.
 آزمایش ۱: در حالی که جریان I_m مگنت را صفر قرار می‌دهیم، به ازای جریان‌های I از صفر تا $15A$ ، V_H را توسط میکرو ولتمتر اندازه گرفته در جدول (۱) ثبت کنید.

۱۵ الی

(IA)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
V_H															

جدول شماره (۱) $I_m=0$

[illegible]

آزمایش ۳- حال $I_m = 2A$ قرار داده آزمایش را مانند آزمایش ۲ تکرار کنید و جدول ۳ را پر کنید.

[illegible]

جدول شماره (۳)

$$I = \gamma \cdot A$$
A blank coordinate plane with a horizontal x-axis and a vertical y-axis intersecting at the origin. The axes are represented by thin black lines.

سپس برای مرحله اول آزمایش تغییرات I را بر حسب V_H بر روی کاغذ میلی متری ترسیم و از طریق محاسبات خط رگرسیون شیب و عرض از مبدأ را محاسبه و سپس به کمک رابطه‌ی $V_H = C_H IB / b$ ثابت هال C_H را همراه با خطای مربوطه محاسبه کنید و نیز تعداد الکترون‌ها در واحد حجم را همراه با خطای مربوطه محاسبه کنید.

V_H				
I	+	-	+	-
B	+	+	-	-

5