

V1. Hallův jev

Úkoly měření:

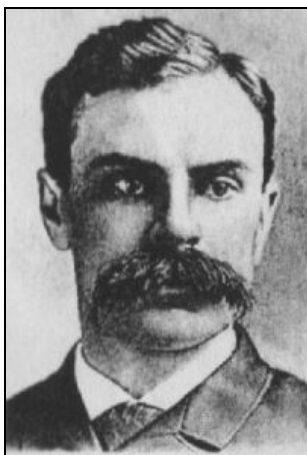
1. Změřte Hallovo napětí v Ge v závislosti na proudu tekoucím vzorkem, magnetické indukci a teplotě.
2. Stanovte šířku zakázaného pásu ΔW v Ge.

Použité přístroje a pomůcky:

1. Měřicí aparatura firmy Phywe [3] pro měření Hallova jevu, voltmetry, propojovací vodiče.

Základní pojmy, teoretický úvod:

Hallův jev je pojmenován po **Edwinu Herbertu Hallovi** (*7. 11. 1855, † 20. 11. 1938), který ve svých 24 letech (tehdy ještě student posledního ročníku na Univerzitě Johnse Hopkinse v Baltimoru) dokázal, že je možno pomocí magnetického pole vychylovat vodivostní elektrony, které se pohybují rychlostí v_d ve vodiči. Zatímco Hall pracoval s tenkými kovovými fóliemi (b musí být co nejmenší) a velkou koncentrací elektronů, dnešní moderní Hallovy sondy obsahují plátek polovodiče s relativně malou koncentrací nosičů nábojů.



Obr. 1 Edwin Herbert Hall [1]

Hallův jev nám umožňuje určit nejenom počet nosičů náboje v elementární jednotce, ale i znaménko jejich náboje, tzn. zda se jedná o kladný nebo záporný náboj.

Na obr. 2 je měděný nosič ve tvaru obdélníku o šířce d , kterým protéká elektrický proud I od směrem dolů. Nosiče náboje jsou zde elektrony, a jak víme, pohybují se (s driftovou rychlostí v_d) ve směru opačném, tedy od spodní části proužku nahoru. Proužek je umístěn ve vnějším

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

magnetickém poli \mathbf{B} , které je kolmé k rovině obrázku a vektor magnetické indukce směřuje ve směru od nás.

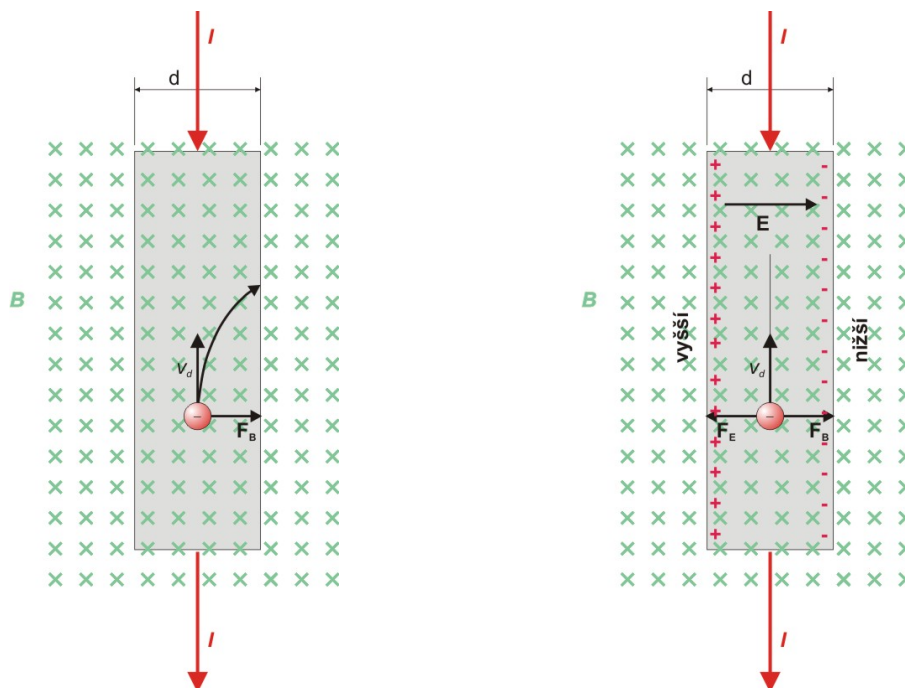
Z rovnice (1) vyplývá, že síla magnetického pole na pohybující se náboj (tzv. Lorenzova síla) \mathbf{F}_B bude působit na každý elektron pohybující se driftovou rychlostí tak, že ho bude tlačít k pravé straně proužku [2]:

$$\mathbf{F}_B = Q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (1)$$

Po chvíli se elektrony pohybující se doprava nahromadí na pravé straně proužku, takže zanechají na levé straně proužku nevykompenzované kladné náboje. Tím vzniká elektrické pole o intenzitě \mathbf{E} uvnitř proužku. Toto pole má směr zleva doprava, takže elektrická síla \mathbf{F}_E tlačí každý elektron doleva. Elektrická síla působící na každý elektron poroste tak dlouho, až se vyrovná opačně působící magnetické síle a ustanoví se rovnováha. Tím se obě síly navzájem vyruší [2]:

$$\mathbf{F}_E + \mathbf{F}_B = 0 \quad (2)$$

Po ustanovení rovnováhy se elektrony budou pohybovat stále driftovou rychlostí ve směru délky proužku k jeho hornímu okraji a náboj nahromaděný na pravé straně, a tedy i pole \mathbf{E} jím vytvořené napříč proužku již budou konstantní [2].



Obr. 2 Měděný proužek, kterým protéká proud I , je umístěn do magnetického pole B . Vlevo - situace okamžitě po zapnutí magnetického pole. Vpravo - ustálená situace, která se vytvoří brzy po zapnutí [2].

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Rozdíl potenciálů U_H vzniklý na vzdálenost d se nazývá Hallovo napětí [2]:

$$U_H = E \cdot d \quad (3)$$

Pokud připojíme voltmetr k bočním okrajům proužku, tak můžeme Hallovo napětí přímo měřit. V případě, že chceme zjistit znaménko nosiče náboje, tak určíme, který z okrajů má vyšší potenciál.

Velikost náboje nosiče označíme Q : pro elektron je $Q = -e$. Je-li elektrická síla v rovnováze se silou magnetickou, dostáváme rovnici [2]:

$$QE = Qv_d B \quad (4)$$

Pro driftovou rychlost dostáváme rovnici [2]:

$$v_d = \frac{J}{nQ} = \frac{I}{nQS} \quad (5)$$

Kde: $J = I/S$ značí velikost hustoty proudu v proužku, S je obsah příčného průřezu proužku a n je počet nosičů náboje v objemové jednotce vodiče (koncentrace nosičů náboje).

Po vyjádření n z rovnice (5) dostáváme vztah [2]:

$$n = \frac{BI d}{U_H S Q} \quad (6)$$

Vidíme, že koncentraci n můžeme vyjádřit pomocí veličin, které můžeme přímo měřit.

Pomocí Hallova jevu lze také změřit driftovou rychlost v_d . Zde je nutné experiment sestavit, aby bylo možno proužkem posouvat v magnetickém poli určitou rychlostí tak, aby Hallovo napětí bylo rovno nule. Za tohoto předpokladu je pak rychlost proužku velikostně rovna driftové rychlosti v_d . Pokud mají nosiče náboje záporný náboj, tak je tato rychlost proužku velikostně stejná jako driftová rychlost, ale opačně orientovaná.

Pro měrnou elektrickou vodivost platí rovnice:

$$\sigma = \frac{c U}{ab I} \quad (7)$$

Kde U je napětí na vzorku polovodiče, I je proud protékající polovodičem, c , b , a jsou geometrické rozměry vzorku.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

A ze směrnice rovnice (8) lze získat velikost šířky zakázaného pásu energie ΔW :

$$\ln(\sigma) = \ln(\sigma_0) + \frac{\Delta W}{k} \frac{1}{T} \quad (8)$$

Kde: ΔW je šířka zakázaného pásu energie, T je teplota [K], k je Boltzmanova konstanta ($k = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$).

Postup měření Hallova napětí:

1. Zapněte si aparaturu pro měření Hallova napětí.
2. Na číslicovém teslametru si zvolte hodnotu magnetické indukce B v mT . Nastavenou hodnotu si zaznamenejte.
3. Na měřícím panelu si nastavte hodnotu konstantního proudu I_p v mA v rozsahu od $-30 mA$ do $30 mA$. Nastavenou hodnotu si zaznamenejte.
4. Nastavte otočením centrálního přepínače na voltmetru příslušný rozsah.
5. Na centrálním měřícím panelu přepněte z nastavení proudu I_p na ukazatel teploty T_p . Na displeji se zobrazí aktuální teplota v $^{\circ}C$.
6. Na zadní straně měřícího panelu spusťte ohřev pomocí tlačítka On/Off. Dojde k zahřátí germaniového proužku na $170^{\circ}C$. Poté dojde k vypnutí ohřevu, na předním panelu zhasne dioda indikátoru ohřevu.
7. Sledujte klesající teplotu a s krokem $10^{\circ}C$ si zaznamenejte příslušné napětí na vzorku U a Hallovo napětí U_H .
8. Opakovaně proveďte měření pro 4 různě nastavené proudy I_p a 2 různé intenzity magnetického pole B .
9. Sestrojte grafy závislosti napětí na vzorku U a Hallova napětí U_H na teplotě T .
10. Pro jednu sadu naměřených dat vypočítejte měrnou elektrickou vodivost σ dle rovnice (7).
11. Sestrojte graf závislosti $\ln(\sigma)$ na $1/T$. Ze směrnice grafu určete šířku zakázaného pásu energie ΔW .
12. Rozměry vzorku Ge jsou: $c = 20 \text{ mm}$, $a = 10 \text{ mm}$, $b = 1 \text{ mm}$. Pro Ge je šířka zakázaného pásu obvykle v intervalu $0,72\text{-}0,78 \text{ eV}$, přičemž $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

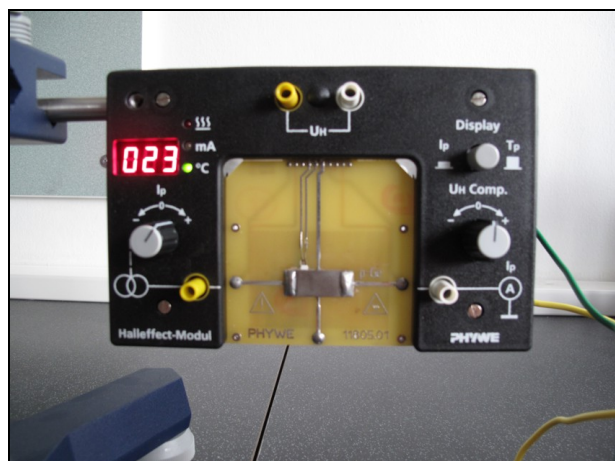
Přístroje a pomůcky pro měření Hallova napětí



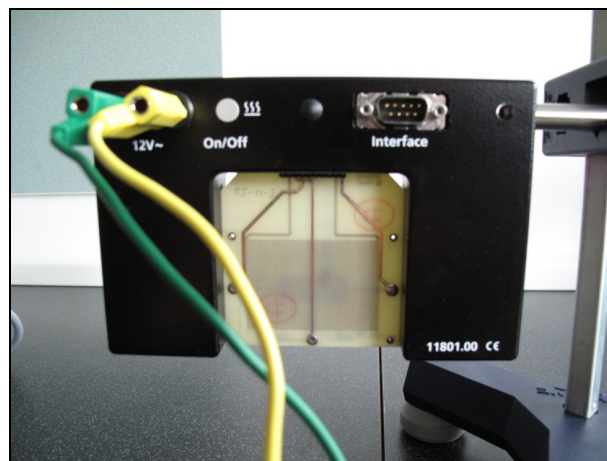
Obr. 3 Teslametr Phywe



Obr. 4 Hallova sonda tangenciální [3]



Obr. 5 Ovládací panel – přední strana



Obr. 6 Ovládací panel – zadní strana

Seznam použité a doporučené literatury:

- [1] <http://people.clarkson.edu> – Edwin Herbert Hall.
- [2] Halliday D., Resnick R., Walker J.: Fyzika, VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM, (2000).
- [3] www.phywe.cz – Měřicí aparatura pro Hallův pokus.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně