Temat 25. Zjawisko Halla

Na elektron poruszający się w polu elektrycznym o natężeniu **E** i magnetycznym o indukcji **B** działa siła Lorentza

$$\mathbf{F} = -e(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}). \tag{25.1}$$

Załóżmy, że prąd elektryczny przepływa przez próbkę w kierunku osi $0x$, zaś wektor $\mathbf{B} \parallel 0z$ (rys. 25.1). Działanie dodatkowej siły $F_y \downarrow\uparrow 0y$ w polu magnetycznym powoduje skutki równoważne działaniu pola elektrycznego $\mathbf{E}_H \uparrow\uparrow 0y$

$$e\,E_H = -F_y = e\,(-v_x)\,B_z = e\,\mu_n\,E_x\,B_z. \tag{25.2}$$

W przypadku gdy tylko elektrony są nośnikami prądu gęstość prądu w kierunku $0x$

$$j_x = -e\,n\,v_x = e\,n\,\mu_n\,E_x\,. \tag{25.3}$$

Jeżeli w kierunku osi $0y$ nie ma możliwości przepływu prądu, to na przeciwległych ściankach próbki pojawi się różnica gęstości ładunków, która wytworzy pole elektryczne $E_y = -E_H$ blokujące dalszy przepływ ładunków w tym kierunku

$$j_y = e\,n\,\mu_n\,(E_y + E_H) = e\,n\,\mu_n\,(E_y + \mu_n\,E_x\,B_z) = 0. \tag{25.4}$$

Ze wzorów (25.2)-(25.4) otrzymujemy

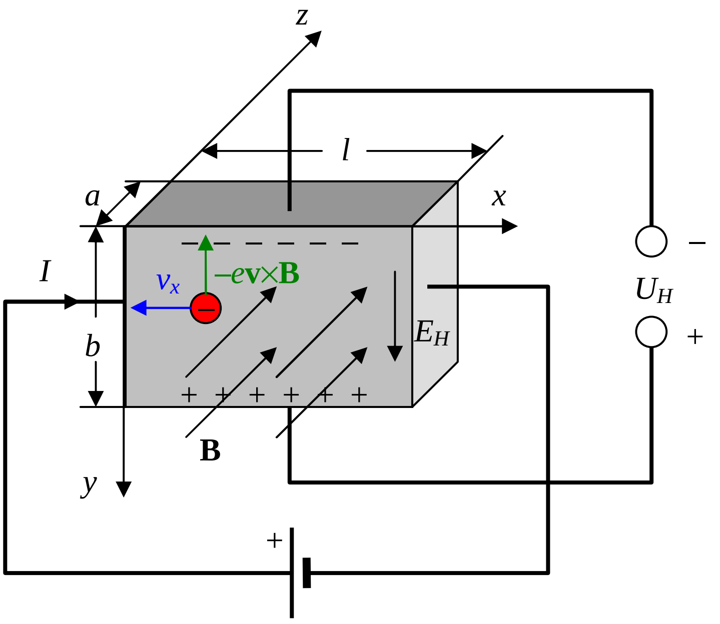
$$\boxed{E_y = -E_H = -\frac{j_x B_z}{ne} = R_H\; j_x B_z}\,, \tag{25.5}$$

gdzie R_H jest *stałą Halla* zależną od materiału

$$\boxed{R_H = -\frac{1}{ne}}\,. \tag{25.6}$$

Ponieważ gęstość prądu można powiązać z natężeniem prądu $I = j_x\,a\,b$, zaś natężenie pola z napięciem Halla $U_H = E_H\,b$ (rys. 25.1), więc

$$U_H = -R_H\,\frac{I\,B_z}{a}. \tag{25.7}$$



Rys. 25.1. Doświadczenie Halla z próbką półprzewodnika typu *n*.

Jeżeli istotne są zarówno elektrony jak i dziury, to gęstość prądu w kierunku osi 0x wynosi

$$j_x = j_{nx} + j_{px} = e\,(n\mu_n + p\mu_p)E_x\,, \tag{25.8}$$

zaś gęstość prądu w kierunku osi 0y

$$\begin{aligned} j_y = j_{ny} + j_{py} &= en\mu_n(E_y + \mu_n E_x B_z) + e\,p\mu_p(E_y - \mu_p E_x B_z) = \\ &= e(n\mu_n + p\mu_p)E_y + e(n\mu_n^2 - p\mu_p^2)E_x B_z = 0, \end{aligned} \tag{25.9}$$

gdzie znak „–” minus wynika z odwrotnego zwrotu pola Halla dla dziur w porównaniu do elektronów. Ze wzorów (25.8) i (25.9) wynika, że

$$E_y = R_H\, j_z\, B_y\,, \tag{25.10}$$

gdzie

$$\boxed{R_H = \frac{1}{e}\,\frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{(n\mu_n + p\mu_p)^2}}\,. \tag{25.11}$$

W półprzewodniku samoistnym, gdzie $n = p = n_i$, wzór (25.11) upraszcza się do postaci

$$R_{Hi} = \frac{1}{en_i}\,\frac{\mu_p - \mu_n}{\mu_p + \mu_n}. \tag{25.12}$$

Niezależnie od postaci wzoru opisującego stałą Halla R_H jest ona odwrotnie proporcjonalna do koncentracji nośników. Stała ta jest więc znacznie mniejsza w metalach niż w półprzewodnikach.

- W przypadku półprzewodników znak stałej R_H pozwala na określenie typu dominujących nośników prądu. Pomiar stałej Halla w połączeniu z pomiarem przewodnictwa $\sigma = e(n\mu_n + p\mu_p)$ umożliwia wyznaczenie ruchliwości elektronów i dziur μ_n i μ_p.
- W metalach znak stałej Halla jest na ogół ujemny, co wiąże się z elektronowym charakterem przewodnictwa elektrycznego. W niektórych metalach wielowartościowych, np. Cd, Zn, Pb, stała $R_H > 0$, chociaż nośnikami prądu są w nich elektrony. Anomalne zjawisko Halla jest skutkiem nakładania się kilku pasm, które razem składają się na pasmo przewodnictwa. Wyprowadzenie wzoru (25.11) opisującego stałą Halla opiera się na modelu elektronów swobodnych, który jest modelem jednopasmowym.