

Е. С. БОРОВИК

ЭФФЕКТ ХОЛЛА ДЛЯ ЦИНКА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

(Представлено академиком Л. Д. Ландау 5 XII 1949)

Исследования гальваномагнитных явлений при низких температурах представляют особый интерес, так как в этих условиях практически достижимы сильные магнитные поля, т. е. такие поля, при которых радиус кривизны траектории электрона в магнитном поле сравним и даже меньше длины свободного пробега.

Измерениям эффекта Холла в чистых металлах при низких температурах посвящены сравнительно давние работы Камерлинг-Оннеса и др. (1, 2) и затем, после долгого перерыва, работы Геритсена и де-Гааза (3, 4) об эффекте Холла в висмуте. В этих работах эффект Холла характеризуется „постоянной Холла“ R . Между тем, величина R является полной характеристикой эффекта Холла лишь до тех пор, пока она действительно постоянна.

Поясним это элементарным подсчетом:

$$R = \frac{E_y}{H j_x}. \quad (1)$$

Здесь E_y — поле Холла, j_x — плотность тока, текущего через образец, H — магнитное поле, направленное вдоль оси z . Если мы обозначим E_x — электрическое поле вдоль направления тока, σ_H и r_H — электропроводность и сопротивление образца в магнитном поле и σ_{om} и r_{om} — то же в отсутствие магнитного поля при температуре опыта, то $j_x = \sigma_H E_x$,

$$R = \frac{1}{\sigma_{om} H} \frac{E_y r_H}{E_x r_{om}}. \quad (2)$$

В малых полях (5)

$$\frac{1}{\sigma_{om} H} \frac{E_y}{E_x} = \text{const}. \quad (3)$$

В частности, для модели свободных электронов $\frac{1}{\sigma_{om} H} \frac{E_y}{E_x} = \frac{1}{ne}$.

Если можно считать $\frac{r_H}{r_{om}} \cong 1$, то величина R является полной характеристикой эффекта Холла. Однако в общем случае, если в условиях опыта наблюдается существенное увеличение сопротивления в магнитном поле, величина R не является постоянной, даже если соблюдается условие (3). Поэтому в области больших полей лучше характеризовать эффект Холла не сложной функцией многих переменных R , а непосредственно величиной E_y/E_x — отношением поля Холла к полю

первичного тока. Если же характеризовать эффект Холла величиной R , то в области больших полей следует задать также величину r_H/r_{om} . При низких температурах малейшие загрязнения очень сильно изменяют свойства металла, поэтому желательно определять величину r_H/r_{om} непосредственно на том же образце, на котором измеряется эффект Холла.

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования эффекта Холла на монокристалле цинка Zn-2. Образец изготовлен из

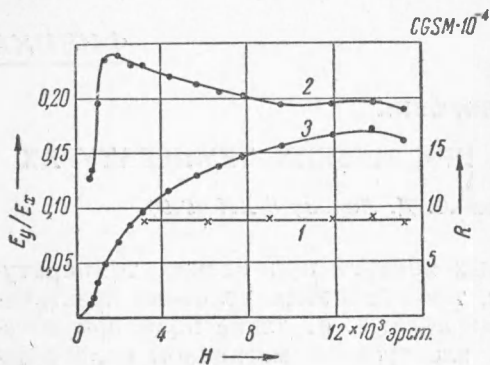


Рис. 1. Эффект Холла для Zn-2: 1 — постоянная Холла R при $T=78^\circ\text{K}$; 2 — R при $T=20,4^\circ\text{K}$; 3 — E_y/E_x при $T=20,4^\circ\text{K}$

цинка Хильера и представлял собой монокристаллическую пластинку размером $22,6 \times 6,2 \times 0,45$ мм. На пластинке были приварены потенциальные провода для измерения эффекта Холла и продольной разности потенциалов на пластинке. Разности потенциалов измерялись потенциометром Диссельхорста. Для исключения побочных эффектов, как обычно, производились переключения направления измерительного тока и магнитного поля.

Зависимость сопротивления образца от температуры в отсутствие магнитного поля выражается

следующими величинами: при $T=20,4^\circ\text{K}$ $r_{om}/r_0 = 6,3 \cdot 10^{-3}$; при $T=4,22^\circ\text{K}$ $r_{om}/r_0 = 4,7 \cdot 10^{-4}$ (r_0 — сопротивление образца при 0°C).

Кристаллографическая ориентация образца определялась оптическим методом (6). Между осью пластинки и осью шестого порядка был угол около 14° . Одна из пар граней гексагональной призмы почти перпендикулярна плоскости пластинки и, таким образом, почти параллельна направлению магнитного поля во время измерений. Угол между этими плоскостями и направлением поля 6° . Перед измерением эффекта Холла была снята диаграмма вращения для сопротивления образца в магнитном поле при $T=4,22^\circ\text{K}$. Диаграмма вращения имела шесть максимумов. В положении плоскости пластинки перпендикулярно магнитному полю на диаграмме вращения был максимум.

Значение постоянной Холла, определенной при комнатной температуре в поле 15150 эрст., $R=9,3 \cdot 10^{-4}$ достаточно хорошо согласуется с литературными данными (7, 8). Значения R , определенные при температуре 78°K , показаны на кривой 1 рис. 1. Здесь мы еще находимся в области полей, где величина $R=9,0 \cdot 10^{-4}$ постоянна. При 78°K в поле $H=15150$ эрст. $r_H/r_{om}=1,0098$.

Результаты измерения эффекта Холла при $20,4$ и $4,22^\circ\text{K}$ показаны на кривых 2 и 3 рис. 1 и на рис. 2.

Сравнительно сложный характер зависимости постоянной Холла R от поля при температуре $20,4^\circ\text{K}$ (кривая 2) и независимость ее величины от поля в области $H > 8 \cdot 10^3$ эрст. при $4,2^\circ\text{K}$ (рис. 2) не имеют особенно существенного значения и связаны с наложением различных законов изменения E_y/E_x и r_H/r_{om} .

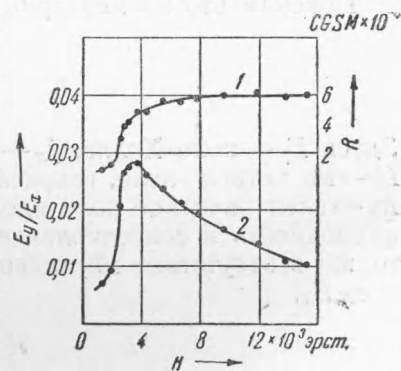


Рис. 2. Эффект Холла для Zn-2 при $T=4,22^\circ\text{K}$: 1 — постоянная Холла R ; 2 — величина E_y/E_x

Зависимость величины сопротивления образца от магнитного поля дана на рис. 3.

Более существенным является характер зависимости E_y/E_x от поля. Имеются теоретические основания предполагать, что линейная зависимость E_y/E_x от поля H , наблюдающаяся в малых полях, продолжается и в области больших полей. Однако в действительности ничего подобного не наблюдается: E_y/E_x при $T=20,4$ и $4,2^\circ\text{K}$ переходит через максимум и затем начинает спадать. При этом, если оценить, пользуясь величиной электропроводности, длину свободного пробега электронов, то оказывается, что максимум при обеих температурах соответствует такой величине поля, при которой радиус кривизны траектории свободного электрона совпадает по порядку величины с длиной свободного пробега. Существенным фактом является также сильное уменьшение величины поля Холла при переходе от водородных температур к гелиевым.

Использование литературных данных для выяснения характера зависимости E_y/E_x от поля затруднительно, так как даже в последних работах (3, 4) не измерялась кривая зависимости сопротивления от магнитного поля. Однако, если использовать данные Шубникова и де-Гааза (9), то из работы Геритсена и де-Гааза (3) следует, что для наиболее чистых образцов висмута на фоне осцилляции видна общая тенденция к убыванию E_y/E_x при больших полях.

Кривая зависимости R от H для кадмия при $20,5^\circ\text{K}$, полученная в работе Камерлинг—Оннеса и Хофа (1), похожа на нашу кривую 2 на рис. 1 с некоторым сдвигом максимума в сторону больших полей. Сравнивая эти результаты с данными Б. Г. Лазарева, Н. М. Нахимовича и Е. А. Парфеновой (10) о зависимости сопротивления кадмия от поля, мы получим для E_y/E_x у кадмия кривую, похожую на кривую 3 рис. 1. Таким образом, анализ литературных данных приводит к мысли, что наблюдаемый нами характер зависимости E_y/E_x от поля не является исключительным явлением.

В заключение автор пользуется случаем выразить благодарность проф. А. И. Ахиезеру и чл. корр. АН УССР Б. Г. Лазареву за интерес к работе и ценные советы.

Физико-технический институт
Академии наук УССР
Харьков

Поступило
27 X 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Kamerlingh-Onnes and K. Hof, Leid. Comm., 142 b (1914). ² Н. Kamerlingh-Onnes and B. Becman, *ibid.*, 129 (1912). ³ A. N. Geritsen and W. J. De Haas, *Physica*, 7, 802 (1940). ⁴ A. N. Geritsen, W. J. De Haas and P. Star, *Physica*, 9, 241 (1942). ⁵ Р. Пайерльс, *Электронная теория металлов*, М., 1947. ⁶ Э. С. Яковлева, *ЖЭТФ*, 3, 454 (1933). ⁷ Б. Лазарев, *Nature*, 134, 139 (1935). ⁸ М. М. Носков, *ЖЭТФ*, 8, 717 (1938). ⁹ W. J. De Haas u. L. W. Schubnikov, *Leid. Comm.*, 210a (1930). ¹⁰ Б. Г. Лазарев, Н. М. Нахимович и Е. А. Парфенова, *ЖЭТФ*, 9, 1169 (1939).

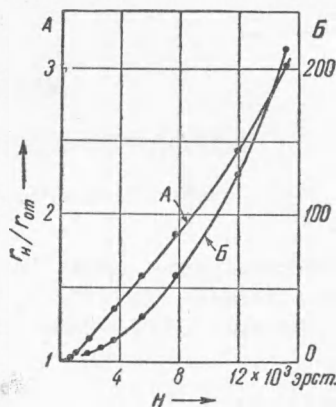


Рис. 3. Зависимость сопротивления Zn-2 от магнитного поля: А — при $T=20,4^\circ\text{K}$, Б — при $T=4,22^\circ\text{K}$ (H перпендикулярно плоскости пластины)