

Е. С. БОРОВИК

### АНИЗОТРОПИЯ ЭФФЕКТА ХОЛЛА У ОЛОВА

(Представлено академиком Л. Д. Ландау 21 I 1954)

Сопротивление в поперечном, перпендикулярном току магнитном поле при низких температурах у ряда металлов крайне анизотропно. Например у цинка и кадмия <sup>(1)</sup> максимальное значение сопротивления в магнитном поле превышает минимальное в 14 и 22 раза, у галлия <sup>(2)</sup> — в 14 раз, у олова <sup>(3)</sup> — в 19 раз и т. д. Такие большие величины не могут быть объяснены непосредственно анизотропией подвижности электронов, так как анизотропия проводимости в отсутствие магнитного поля порядка десятков процентов <sup>(4)</sup>. В положениях минимума отличается не только величина сопротивления в магнитном поле, но и характер его изменения с изменением поля, приближающийся к линейному, в отличие от квадратичного закона, наблюдающегося для прочих положений кристалла.

Ранее было показано, что замедленное возрастание сопротивления в магнитном поле у некоторых металлов связано с влиянием большей величины поля Холла <sup>(5,6)</sup>. В связи с этим можно было предположить, что малое значение сопротивления в магнитном поле и изменение характера зависимости его от величины поля для некоторых ориентаций металлических кристаллов также связано с влиянием поля Холла. Исходя из этого, было предпринято исследование анизотропии эффекта Холла у олова.

Исследованный монокристалл Zn-6 имел форму цилиндра диаметром 0,62 мм и длиной (между потенциальными проводами) 5 мм. Ось симметрии 4-го порядка ориентирована перпендикулярно оси цилиндра с точностью до нескольких градусов. В дальнейшем приняты следующие обозначения. Если вдоль оси образца в направлении тока направить ось  $x$  правовинтовой системы координат, то магнитное поле направлено вдоль оси  $z$ . Образец можно поворачивать вокруг оси, совпадающей с осью образца. При этом ось 4-го порядка вращения в плоскости  $yz$ . Угол между осью 4-го порядка и магнитным полем обозначим  $\psi$ .

В общем случае анизотропного металла поле Холла не перпендикулярно магнитному полю. Будем называть полем Холла вектор электрического поля, лежащий в плоскости  $yz$ , перпендикулярной на-

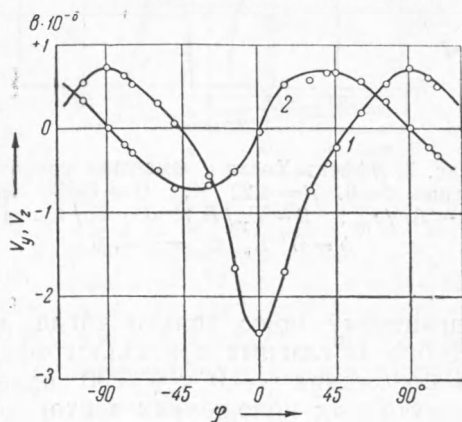


Рис. 1. Разности потенциалов Холла в зависимости от угла  $\psi$  между осью симметрии 4-го порядка и магнитным полем. Образец Sn-6.  $T = 4,22^\circ\text{K}$ ,  $H = 14880$  эрст. 1 —  $V_y$ ; 2 —  $V_z$

правлению тока, составляющие которого меняют знак при перемене знака магнитного поля.

Для измерения поля Холла на окружности цилиндра во взаимно-перпендикулярных направлениях было смонтировано две пары потенциальных проводов. Кроме того, вблизи концов цилиндра помещена пара потенциальных проводов для измерения продольной разности потенциалов. Разности потенциалов измерялись при помощи малоомного потенциометра с ценой деления  $10^{-8}$  в. Побочные эффекты исключались переключением направления магнитного поля и тока. Из-

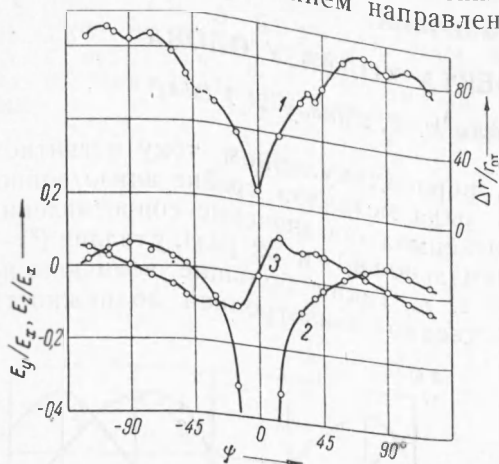


Рис. 2. Эффект Холла и изменение сопротивления Sn-6.  $T = 4,22$  °К,  $H = 14880$  эрст. 1 —  $\Delta r/r_0$ ; 2 —  $E_y/E_x$ ; 3 —  $E_z/E_x$ . При  $\psi = 0^\circ$   $E_y/E_x = -2,46$

мерения при помощи двух пар холловских электродов позволяет определить величину и направление поля Холла или, что то же, величину его составляющих  $E_y$  и  $E_z$  при вращении образца вокруг его оси. В настоящем сообщении приводятся результаты измерения при гелиевых температурах. При  $T = 4,22$  °К в отсутствие магнитного поля отношение сопротивления образца Sn-6 к его сопротивлению при  $0^\circ$  будет  $r_{от}/r_0 = 4,0 \cdot 10^{-4}$ .

На рис. 1 дана зависимость величины компонент  $V_y$  и  $V_z$  разности потенциалов Холла от угла между осью симметрии 4-го порядка и магнитным полем. Как видно из рисунка, поле Холла перпендикулярно

магнитному полю только тогда, когда последнее направлено вдоль одного из главных кристаллографических направлений. При переходе от положения  $\psi = 0^\circ$  к  $\psi = 90^\circ$  изменяется знак эффекта Холла. В промежуточных положениях вектор поля Холла постепенно поворачивается, становясь вдоль магнитного поля при  $\psi = \pm 45-50^\circ$ . Поле Холла при  $\psi = 0^\circ$  по абсолютной величине более чем в 3 раза превышает поле Холла при  $\psi = 90^\circ$ .

Мы не будем здесь пользоваться традиционной характеристикой эффекта Холла — постоянной Холла  $R$ , так как определяющим для поведения металла является не величина разности потенциалов Холла при заданном значении тока, а отношение поля Холла или его компонент  $E_y, E_z$  к величине электрического поля в направлении тока  $E_x$  (6). На рис. 2 и 3 приведены зависимости  $E_y/E_x$  и  $E_z/E_x$  от угла  $\psi$  в поле 14880 эрст. и от величины магнитного поля при нескольких заданных углах  $\psi$ . Повидимому, зависимость  $E_y/E_x = f(H)$  для всех ориентаций имеет вид кривой с максимумом, характерный для металлов с равной концентрацией дырок и электронов (6). Однако, если для  $\psi = 90^\circ$  максимум  $E_y/E_x$  лежит в области поля  $H < 3000$  эрст., то для  $\psi = 0^\circ$  максимум, если он имеется, лежит при  $H > 25000$  эрст. Для  $\psi = 90^\circ$  максимальное значение  $E_y/E_x \sim 0,1$ , а для  $\psi = 0^\circ$  при  $H = 25000$  эрст.  $E_y/E_x = 2,66$ . Таким образом, если для  $\psi = 90^\circ$  можно пренебречь влиянием поля Холла на изменение сопротивления в магнитном поле, то при параллельном расположении магнитного поля и оси 4-го порядка ( $\psi = 0^\circ$ ) поле Холла оказывает решающее влияние на характер изменения сопротивления в магнитном поле.

Если учесть влияние поля Холла по формулам для изотропной модели металла с двумя перекрывающимися зонами (7,8,3), то подстановка

экспериментального значения  $E_y/E_x$  в формулы для изменения сопротивления в магнитном поле дает приближенно нужные значения и характер изменения сопротивления при  $\psi = 0^\circ$  и  $\psi = 90^\circ$  без учета анизотропии подвижности. Отдельно большая величина  $E_y/E_x$  при  $\psi = 0^\circ$  также может быть получена за счет разности подвижности дырок и электронов в двухзонной модели при малой анизотропии средних величин подвижности. Однако даже грубое согласование всех данных эксперимента хотя бы для двух направлений  $\psi = 0^\circ$  и  $\psi = 90^\circ$  невозможно в рамках простейшей анизотропной модели с двумя тензорами эффективных масс для дырок и электронов.

Для согласованного объяснения полученных для эффекта Холла и изменения сопротивления данных, видимо, необходимо привлечение более точной модели с учетом структуры перекрывающихся зон, подобно тому, как это было сделано в работе Д. Блохинцева и Л. Нордгейма<sup>(9)</sup> для кубической структуры. Пока можно лишь отметить, что большая анизотропия сопротивления в магнитном поле у олова (минимум при  $\psi = 0^\circ$  на рис. 2, 1) объясняется влиянием эффекта Холла.

Дальнейшее исследование покажет, является ли обнаруженная здесь связь явлений общим правилом. Однако уже сейчас можно отметить, что влиянием эффекта Холла можно объяснить лишь появление anomalно глубоких минимумов на диаграмме вращения для сопротивления в магнитном поле. Появление же обычных минимумов сопротивления (например, при  $\psi = 40^\circ$  и  $\psi = 90^\circ$ , кривая 1 на рис. 2), видимо, не связано непосредственно с влиянием поля Холла.

В заключение автор выражает благодарность действительному члену АН УССР Б. Г. Лазареву за интерес к работе.

Физико-технический институт  
Академии наук УССР  
Харьков

Поступило  
22 VII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Б. Г. Лазарев, Н. М. Нахимович, Е. А. Парфенова, ЖЭТФ, **9**, 1169 (1939). <sup>2</sup> W. J. De Haas, J. W. Blom, Physica, **4**, 767 (1937). <sup>3</sup> Е. С. Боровик, ЖЭТФ, **23**, 91 (1952). <sup>4</sup> Сборн. физических констант, 1937. <sup>5</sup> Е. С. Боровик, ДАН, **75**, 639 (1950). <sup>6</sup> Е. С. Боровик, ЖЭТФ, **23**, 83 (1952). <sup>7</sup> E. H. Sondheimer, A. H. Wilson, Proc. Roy. Soc., A, **190**, 435 (1947). <sup>8</sup> M. Kohler, Ann. d. phys., **6**, 18 (1949). <sup>9</sup> Д. Блохинцев, Л. Нордгейм, Zs. f. Phys., **84**, 168 (1933).

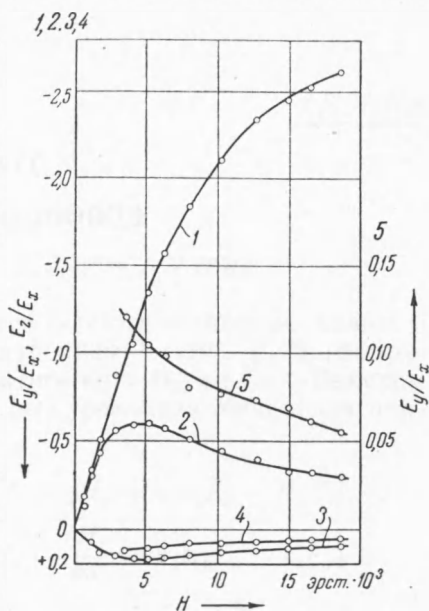


Рис. 3. Эффект Холла для Sn-6 при  $T = 4,22^\circ \text{K}$ . Зависимость от величины магнитного поля. 1— $E_y/E_x$  при  $\psi = 0^\circ$ ; 2— $E_y/E_x$  при  $\psi = 15^\circ$ ; 3— $E_z/E_x$  при  $\psi = 15^\circ$ ; 4— $E_y/E_x$  при  $\psi = 90^\circ$ ; 5— $E_y/E_x$  при  $\psi = 90^\circ$  (кривая 4 в увеличенном масштабе)