

3.3.5 – Эффект Холла в металлах.

Цель работы. Измерение подвижности и концентрации носителей зарядов в металлах.

В работе используются: электромагнит с источником питания, источник постоянного тока, микровольтметр, амперметры, милливеберметр, образцы из серебра и цинка.

Теоретическая часть. Ещё по полуклассической теории Бора мы знаем, что энергия электронов в атомах квантуется. Несомненно, твердое тело как макроскопическое объединение отдельных атомов имеет гораздо более сложную структуру, чем отдельный атом; тем не менее, с большой степенью точности поведение электронов в твердом теле можно описать, используя *зонную модель*. В ней мы предполагаем, что каждый электрон суть «общий» для всех атомов данного твердого тела объект, имеющий дискретное распределение энергии (конечно, отличное от такового для отдельного атома). Вместо уровней теперь речь идёт о т. н. зонах. Верхняя из заполненных зон – *валентная зона*; верхняя незаполненная зона – *зона подвижности*. Если все зоны заполнены, твердое тело суть диэлектрик; в противном случае оно проводник или полупроводник, в зависимости от того, как сильно заполнена зона подвижности. Во внешнем электрическом поле электроны в подвижной зоне, как ясно из данного названия, приходят в движение. Для удобства его описания обычно вводят *дырки* – квазичастицы, имеющие смысл отсутствия электрона в кристаллической решетке. Поэтому мы используем далее термин *носитель заряда*, хотя де-факто есть только один вид носителя – электрон.

Как же движутся носители заряда? Во многом похоже на механизм переноса субстанции в явлениях трения, теплопроводности и диффузии. Носитель ускоряется под действием электрического поля, проходит некоторую «длину свободного пробега», врежется в какой-нибудь узел решетки, теряет скорость, и всё по новой. При этом при данных постоянных условиях (однородность вещества, постоянная температура, напряженность поля и т. п.) можно считать, что

$$\langle \mathbf{v} \rangle = -b\mathbf{E},$$

где b – *подвижность*. Пусть n – средняя концентрация носителей заряда, e – их заряд. Для плотности тока получаем тогда

$$\mathbf{j} = ne \langle \mathbf{v} \rangle = enb\mathbf{E} = \sigma \mathbf{E},$$

где $\sigma = enb$ – *проводимость*.

Мы видим, что в нашей модели¹ выполняется закон Ома. С этим уже можно работать, ибо измерить проводимость – дело простое. Заряд носителей мы знаем – это заряд электрона, известный нам по опыту Милликена².

Ещё немного информации можно получить, если поместить образец с током в постоянное магнитное поле так, как это показано на рисунке 1. Ведь тогда на носители заряда в металле будет действовать сила Лоренца $F = e|\langle v_x \rangle|B$, смещающая их вдоль оси z . Это приводит к накоплению избыточного заряда одного знака на боковых гранях А и Б пластины. Избыточный заряд, в свою очередь, создает электрическое поле, препятствующее дальнейшему накоплению заряда – и так до тех пор, пока обе силы не уравновесят друг друга. Произойдет это, понятно, когда $E_z = |\langle v_x \rangle|B$; в таком случае между боковыми гранями создаётся некоторое *холловское напряжение* $U = -E_z l$.

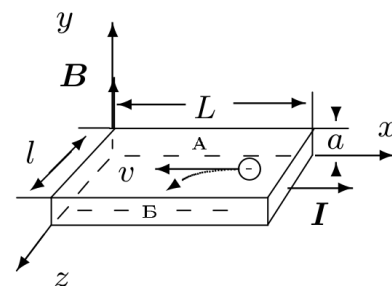


Рис. 1: К рассмотрению эффекта Холла

¹Внимательный читатель может заметить, что при «выводе» закона Ома и эффекта Холла мы никак не пользуемся положениями зонной теории. Бесспорно, эта теория неплохо описывает физику твердого тела качественно, однако мы не в состоянии привести ни одного количественного закона. Фактически, мы пользуемся здесь классической теорией Друде, созданной по образу и подобию кинетической теории газов (электронный газ и т. п.).

²Хотя я его не воспроизводил.

Замечая, что сила тока есть

$$I = ne|\langle v_x \rangle|la,$$

получаем выражение для ЭДС Холла в виде

$$U = -\frac{IB}{nea} = -R_H \frac{IB}{a}, \quad (1)$$

где $R_H = 1/ne$ – *постоянная Холла*. Что же мы видим? Измерение проводимости среды позволяет определить произведение enb , а исследование эффекта Холла – en . Раз мы знаем заряд электрона, то, следовательно, можем получить из данных опытов информацию о концентрации носителей (электронов или дырок) и их подвижности, следовательно, косвенно о структуре твердого тела. Этим и займемся.

Экспериментальная установка. Суть проста – вносим металлическую пластину в зазор электромагнита и измеряем микровольтметром ЭДС Холла. Сила тока через пластину регулируется реостатом.

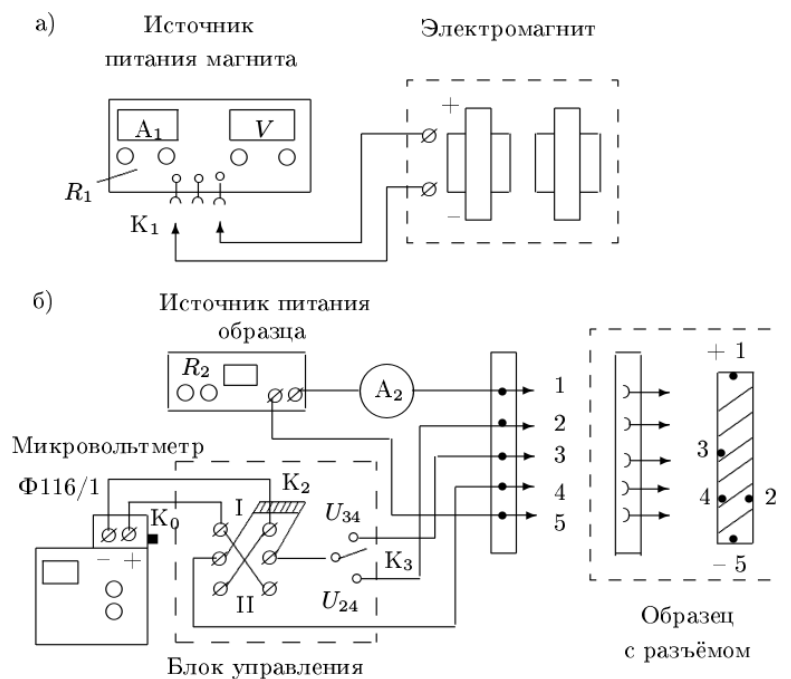


Рис. 2: Схема экспериментальной установки