Доклады Академии наук СССР
1955. Том 103, № 5

ФИЗИКА

Л. Ф. ВЕРЕЩАГИН и А. И. ЛИХТЕР

ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТА ХОЛЛА В ВИСМУТЕ ОТ ДАВЛЕНИЯ

(Представлено академиком Г. С. Ландсбергом 2 IV 1955)

Рассмотрение данных по сжимаемости элементов при давлениях до 100 000 кГ/см² приводит к выводу о возможности существования скачков объема, связанных не с обычными полиморфными переходами, при которых происходит изменение симметрии кристаллической решетки, а с изменением распределения электронов в атоме ([1]). Для выяснения того, что происходит при таких «электронных переходах», существенную помощь может оказать измерение зависимости от давления эффекта Холла, а также других гальваномагнитных эффектов. В качестве первого объекта исследования был избран висмут, имеющий аномально большой эффект Холла, что значительно облегчило работу по наладке методики измерений. С другой стороны, висмут как по величине эффекта Холла, так и по ряду других физических свойств является аномальным металлом. Известно, например, что его температура плавления с ростом давления не повышается, как обычно, а понижается. Однако, как показали исследования Бриджмена ([2]), в висмуте с ростом давления около 26 000 кГ/см² происходит переход в другую полиморфную модификацию, для которой кривая плавления становится нормальной, т. е. температура плавления возрастает с давлением. Поэтому изучение зависимости эффекта Холла в висмуте от давления представляет самостоятельный интерес.

Нами создана установка для измерения эффекта Холла при давлениях до 10 000 кГ/см² и магнитных полях до 10 000 эрст. Имея в виду дальнейшее расширение диапазона давлений, мы выбрали в качестве среды, передающей давление, не жидкость, а пластичное твердое тело. Работа по наладке установки была проведена с иодистым кадмием, а измерения — с хлористым серебром. Из измерений зависимости силы сдвига от давления ([3]) известно, что для этих солей сила сдвига невелика и мало возрастает с давлением. Для CdJ_2 при 10 000 кГ/см² сила сдвига равна 230 кГ/см² и возрастает до 700 кГ/см² при 50 000 кГ/см². Однако CdJ_2 гигроскопичен, что приводит к коррозии электровводов, проводов и висмутовой пластинки. Поэтому мы применяли хлористое серебро, у которого сила сдвига больше и составляет 500 кГ/см² при 10 000 кГ/см², возрастая до 1300 кГ/см² при 50 000 кГ/см². В самом неблагоприятном случае сила сдвига составляет не более 5% от общего давления, так что давление, передаваемое той или другой солью, заметно не отклоняется от гидростатического. Вблизи 30 000 кГ/см² все известные жидкости либо затвердевают либо приобретают такую большую вязкость, что уже не могут передавать давление. Поэтому чем выше давление, тем выгоднее применение пластичной соли по сравнению с жидкостью, не говоря уже о значительном упрощении работы, в частности, такой важной детали, как уплотнение.

На рис. 1 изображена установка для измерения зависимости эффекта Холла от давления. Давление создается при помощи пресса, сконструированного так, чтобы трение в нем было минимальным. Для этого пор-

шень *1* пресса имеет большой диаметр (192 мм), благодаря чему давление масла под поршнем сравнительно невелико. Поршень входит в цилиндр *2* с зазором около 0,05 мм по диаметру; для создания давления применяется касторовое масло, имеющее большую вязкость. Вследствие большой высоты поршня, большой вязкости масла и малой ширины зазора, по высоте поршня устанавливается большой перепад давления, и в отверстие *3* масло вытекает лишь медленно. Для поддержания постоянного давления через вентиль тонкой регулировки подается касторовое масло, находящееся в баллоне под давлением воздуха. Постоянство давления до 50 кГ/см² можно поддерживать без труда в пределах 0,1—0,2 кГ/см². Высокое давление создается внутри матрицы *4* при помощи пуансонов *5* и *6*, имеющих диаметр рабочей части 14 мм. В матрице находится пластичная соль, а для уплотнения служат тонкие стальные уплотнительные кольца конического сечения. В одном из пуансонов устроены 4 миниатюрных электроввода. На рис. 2 изображен этот пуансон. Гнездо электроввода представляет собою коническое отверстие высотой 5 мм с диаметрами 2 и 1 мм. К гнезду притирается коническая пробка *1*, а изолятором служит коническая шапочка *2* из органического стекла с толщиной стенок 0,1 мм *. Пуансоны являются полюсными наконечниками магнита. На стержнях *7* и *8* (рис. 1) находятся катушки с большим числом витков, в которые может подаваться постоянный ток силой до 9 а. Магнитный поток замыкается через плиты и тяги пресса, а между пуансонами в пространстве, занятом пластичной солью, создается магнитное поле силой до 10 000 эрст. Матрица *4* изготовлена из немагнитной нержавеющей стали марки ЭЯIT. Ввиду малой прочности этой стали матрица вдавливается по наружной конической поверхности в поддерживающий диск *9* из стали 40Х, подвергнутой закалке и отпуску. При давлениях до 10 000 кГ/см² матрица не разрывается, но испытывает изнутри заметную пластическую деформацию с увеличением внутреннего диаметра на несколько десятых миллиметра. Для определения общего трения в установке, которое складывается из трения поршня в цилиндре пресса, трения пуансонов, уплотнений и пластичной соли в матрице, на пуансонах *5* и *6* были закреплены измерительные рычаги. На нижнем рычаге находились две стойки, а на верхнем два часовых индикатора с ценой деления 1 μ. При помощи этих индикаторов измерялось смещение пуансонов в функции от давления масла в цилиндре при поднятии и снижении давления. Разница между восходящей и нисходящей ветвями кривой характеризует общее трение. Оно составляло для давлений масла до 45 кГ/см² в случае AgCl 1,8 кГ/см², т. е. 4% от максимального давления.

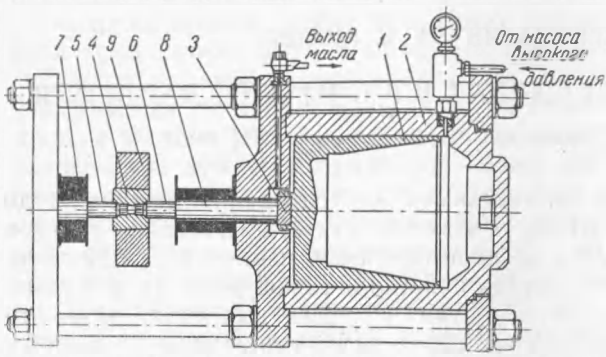


Рис. 1. Установка для измерения зависимости эффекта Холла от давления

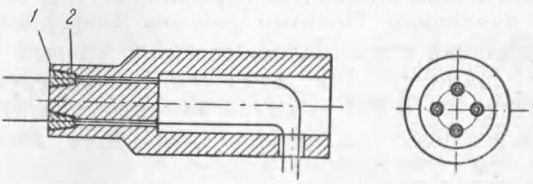


Рис. 2. Пуансон с четырьмя электровводами

* Электроввод выполнен С. Т. Власовым, которому приносим благодарность.

Эта поправка на трение учитывалась при определении истинного давления в матрице.

Измерения эффекта Холла производились с висмутовой пластинкой, которая изготовлялась расплавлением химически чистого металлического висмута между стеклянными пластинками и имела толщину от 0,1 до 0,2 мм. Для измерения электродвижущей силы Холла применялась схема с тремя контактами. Между двумя контактами, припаянными с одной стороны пластинки, включалось сопротивление и на нем подбиралась точка, не имеющая разности потенциалов с третьим контактом, припаянным на противоположной стороне висмутовой пластинки. Разность потенциалов, возникающая при включении магнитного поля, измерялась низкоомным потенциометром. Ток силой от 0,5 до 1,5 а подавался с одной сто-

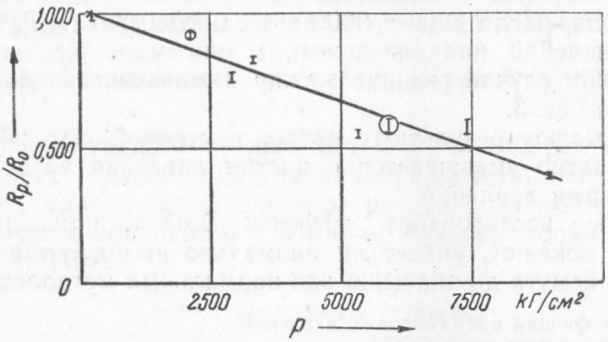


Рис. 3. Зависимость R_P/R_0 для висмута от давления

роны пластинки через массу стального пуансона, а с другой стороны через электроввод. Таким образом, для измерения эдс Холла нужны были четыре электроввода и один контакт на массу пуансона. Для сборки предварительно прессуется пластинка из хлористого серебра диаметром 10 мм и толщиной около 2 мм. В пластинке просверливаются четыре отверстия для проводов к электровводам. Эти провода припаиваются к висмутовой пластинке, уложенной на пластинку из хлористого серебра. После припайки производится предварительное измерение эдс Холла без матрицы. При этом было найдено, что коэффициент Холла при 4500 эрст. равен 1,50, а при 9000 эрст. равен 1,14 в электромагнитных единицах. Затем нижний пуансон устанавливался в матрице, в которую вставлено уплотнительное кольцо, и весь свободный объем засыпался хлористым серебром. Сверху вставлялось второе уплотнительное кольцо в верхний пуансон и вся засыпка подвергалась под прессом предварительному обжатию. Хлористое серебро заполняет все свободные места и образует компактную массу, в которой заключены как висмутовая пластинка, так и провода, ведущие к электровводам. На кривой рис. 3 дана зависимость отношения R_P/R_0, где R_p — коэффициент Холла под давлением, от давления p. За R_0 взято значение, полученное при давлении 180 кГ/см², а не при атмосферном давлении, так как, только давая небольшое давление на пуансоны, можно быть уверенным, что они плотно прилегают к поверхности хлористого серебра в матрице; в противном случае значение напряженности магнитного поля в зазоре между пуансонами уменьшается на неопределенную величину, что может привести к большим ошибкам, поскольку напряженность зависит от размеров зазора по квадратичному закону. Изменение расстояния между пуансонами вследствие сжимаемости хлористого серебра во всем диапазоне давлений до 10 000 кГ/см² составляет менее 0,05 мм, т. е. менее 1%, и связанным с этим изменением напряженности поля мы пренебрегали. Как видно из рис. 3, результаты измерений подвержены сильному разбросу, но общее уменьшение коэффициента Холла для висмута при повышении давления неоспоримо.

Точки, обведенные кружками, получены при снижении давления, остальные точки — при поднятии давления. Учитывая разброс, те и другие точки одинаково хорошо ложатся на общую прямую линию. Это свидетельствует об обратимости измеряемого нами эффекта и отсутствии пластической деформации пластинки висмута. Прямая линия, проведенная на рис. 3, является только первым приближением, так как небольшое число точек при таком разбросе не позволяет определить действительную кривизну для зависимости R_p/R_0 от давления. Поэтому было бы преждевременно решать связано ли изменение эффекта Холла в висмуте при повышении давления только с уменьшением расстояния между атомами или с изменением расположения зон и т. д. Можно только сделать неоспоримый вывод, что число «коллективизированных» электронов с давлением возрастает. Измерения проводились при двух значениях напряженности магнитного поля, около 5000 и 9000 эрст. Отношения R_p/R_0 определялись для обоих значений напряженности, и они мало различаются между собой, во всяком случае разница между ними значительно меньше разброса точек на рис. 3.

Как показывают результаты наших измерений, эдс эффекта Холла в висмуте заметно уменьшается с ростом давления во всем диапазоне достигнутых нами давлений.

Дальнейшее исследование эффекта Холла при давлениях до 30 000 кГ/см² покажет, упадет ли аномально высокое значение эдс эффекта Холла висмута до значения эдс нормальных металлов.

Лаборатория физики сверхвысоких давлений
Академии наук СССР

Поступило
14 III 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Л. Ф. Верещагин, А. И. Лихтер, ДАН, 86, 745 (1952). [2] P. W. Bridgman, Phys. Rev., 48, 893 (1935). [3] P. W. Bridgman, Proc. Am. Acad. Arts Sci., 71, 387 (1937).