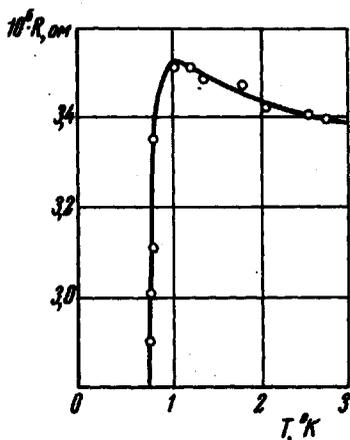


ратур $0,38 - 2,3^{\circ}\text{K}$ (для получения низких температур использовался прибор с жидким He^3 конструкции авторов работы [2]). Результаты измерений представлены на рисунке.



Наблюдается возрастание электросопротивления с уменьшением температуры вплоть до перехода в сверхпроводящее состояние. Изучение влияния концентрации примесей на величину температуры сверхпроводящего перехода в настоящей работе не проводилось. По этому вопросу см. [3], где тщательно определено значение T_c для образцов молибдена различной частоты с учетом влияния тока, протекающего через образец.

Таким образом, можно считать установленным, что возможна такая экспериментальная ситуация, при которой наблюдается существование эффекта Кондо и сверхпроводимости.

Институт физики металлов
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
13 апреля 1968 г.

Литература

- [1] С.Л. Гинзбург. Письма ЖЭТФ, 7, 96, 1968.
[2] Б.Н. Есальсон, Б.Г. Лазарев, А.Д. Швец. ПТЭ, № 3, 198, 1962.
[3] И.Г. Дьяков, А.Д. Швец. ЖЭТФ, 49, 1091, 1965.

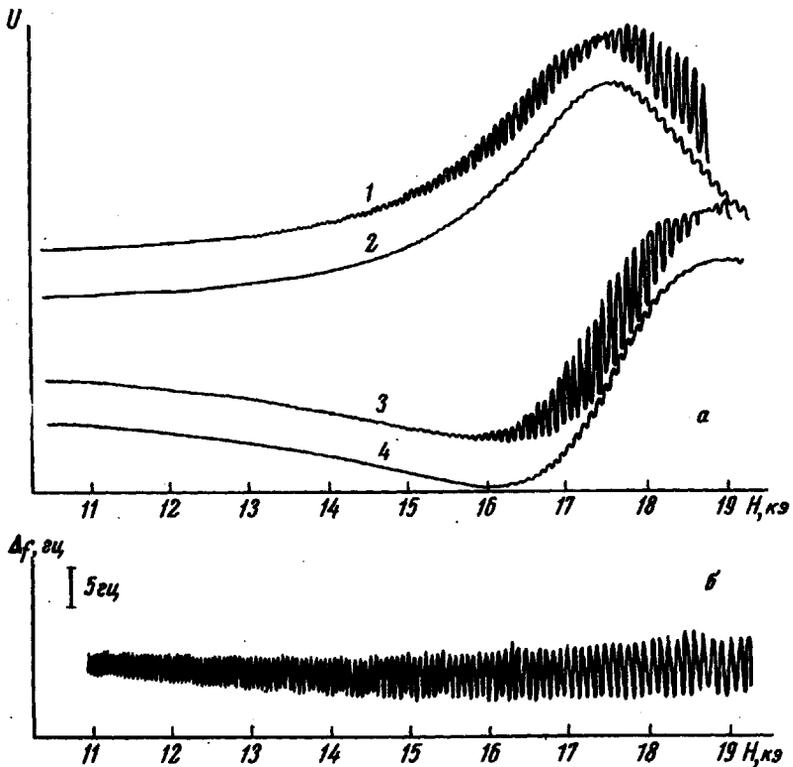
О ПРИРОДЕ КВАНТОВЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ, НАБЛЮДАЕМЫХ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ГЕЛИКОНОВ В МЕТАЛЛЕ

Е.П. Вольский, В.Т. Петрашов

Квантовые осцилляционные эффекты при распространении спиральных магнитоплазменных волн (геликонов) в алюминии, индии и других наблюдались в ряде работ [1, 2].

Теория явления была дана в работе [3] в предположении, что эффект вызывается осцилляциями компонент тензора проводимости. В результате получается, что осциллирует преимущественно затухание геликонов.

Эксперименты, описанные в данной работе, показывают, что истолкование эффекта должно быть иным.



a — запись резонанса геликоновой волны в образце алюминия, имеющем форму диска диаметром 10 мм и толщиной 1 мм. Частота 160 мк, постоянное поле направлено по оси (110) и составляет 45° с нормалью к поверхности образца. 1 — кривая абсорбции, записанная при $1,4^\circ\text{K}$, 2 — кривая абсорбции при $4,2^\circ\text{K}$, 3 — кривая дисперсии, записанная при $1,4^\circ\text{K}$, 4 — кривая дисперсии при $4,2^\circ\text{K}$; *b* — осцилляции резонансной частоты образца при $T = 1,4^\circ\text{K}$ и той же ориентации постоянного поля, что и на рисунке, *a*

Измерения проводились на монокристалле алюминия, имевшем форму диска диаметром 10 мм и толщиной 1 мм, с осью четвертого порядка по нормали к поверхности. Образец помещался в скрещенные катушки. На одну из катушек подавался сигнал звуковой частоты. Сигнал с приемной катушки через узкополосный усилитель и синхронный детектор поступал на Y -координату двухкоординатного самописца. Величина постоянного магнитного поля измерялась датчиком Холла. Измерение проводилось в полях до 20 кэ. Наклон поля к поверхности образца можно было изменять поворотом магнита.

На рисунке *a* приведены экспериментальные записи резонанса, соответствующего возбуждению в образце стоячей волны, длина которой равна его удвоенной толщине. В зависимости от выбора фазы синхронного детектора записывается либо кривая дисперсии, либо абсорбции. На кривых видны квантовые осцилляции, амплитуда которых существенно возрастает при понижении температуры. Период осцилляций соответствует сечениям трубок поверхности Ферми алюминия в третьей зоне. Обращает на себя внимание следующая особенность: амплитуда осцилляций имеет минимум вблизи экстремумов кривых. При изменении фазы синхронного детектора или частоты сигнала возбуждения экстремумы смещаются по полю и вместе с ними смещается положение минимумов амплитуды. Если осциллирует затухание волны, т.е. добротность резонанса, то замирания осцилляций в экстремумах не должно быть.

Эффект можно объяснить, если предположить, что осциллирует длина волны. Чтобы проверить это предположение, был проведен следующий эксперимент.

Возбуждающая катушка была подключена к выходу, а приемная — ко входу усилителя, аналогичного описанному в работе [4]. В магнитном поле такая система возбуждается на частоте первого геликонового резонанса. Частота генерации определяется дисперсионным соотношением для геликонов и должна изменяться линейно с магнитным полем, так как длина волны зафиксирована толщиной образца. В работе [4] это устройство было предложено в качестве магнитометра. В нашем эксперименте мы наблюдали осцилляции частоты такого генератора (рисунок *b*), наложенные на линейный ход его частоты в функции от магнитного поля. Для записи зависимости частоты генератора от магнитного поля мы использовали частотомер ЧЗ-7, сигнал с которого подавался на Y-координату самописца. Монотонный ход частоты мы компенсировали соответственно подобранным сигналом с дополнительного датчика Холла.

При изменении магнитного поля от 10 до 20 кэ амплитуда осцилляций частоты на приведенной кривой возрастает от 1 до 2%.

Описанный эффект наблюдался при различных направлениях магнитного поля, составлявших с нормалью к поверхности образца углы θ —45°.

При направлениях близких нормали (ось [100]) амплитуда осцилляции значительно уменьшается, что согласуется с результатами И.П.Крылова [2]. К сожалению, направить поле точно по нормали мы не могли из-за неточности установки образца в приборе.

Приведенные экспериментальные данные показывают, что дисперсионное соотношение, связывающее частоту и волновой вектор геликоновой волны, содержит осциллирующую добавку. Выражение для нее трудно получить, если заменить \mathbf{H} на $\mathbf{B} - 4\pi \mathbf{M}(\mathbf{B})$ в уравнениях Максвелла, которые принимают следующий вид:

$$\operatorname{rot} \mathbf{e} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{b}}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\operatorname{rot}[\mathbf{b} - 4\pi(\mathbf{b}\nabla)\mathbf{B} - \mathbf{B}_0 M(\mathbf{B})] = \frac{4\pi}{c} \hat{\sigma} \mathbf{e}, \quad (2)$$

где \mathbf{e} и \mathbf{b} – векторы электрического поля и магнитной индукции волны, $\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{b}$, \mathbf{B}_0 – постоянное поле в образце, $\hat{\sigma}$ – тензор проводимости.

Дисперсионное соотношение, полученное из (1) и (2) для сферической поверхности Ферми имеет вид:

$$k^2 = \frac{4\pi N e \omega}{c \sqrt{q} H \cos \theta}, \quad (3)$$

$$q = 1 - 4\pi \sin^2 \theta \frac{\partial M}{\partial B}, \quad (4)$$

где θ – угол между \mathbf{k} и \mathbf{B}_0 .

Так как вектор \mathbf{b} волны всегда параллелен поверхности металла, то второй член в левой части (2), ответственный за наблюдаемые осцилляции, равен нулю для сферической поверхности Ферми, если поле \mathbf{B}_0 направлено по нормали. Если часть поверхности Ферми имеет вытянутую форму, близкую к цилиндрической, то вклад в осцилляции от нее равен нулю, если ось цилиндра направлена по нормали. Эти выводы согласуются с экспериментами [2, 3].

Таким образом, основываясь на приведенных экспериментальных результатах и их интерпретации, можно утверждать, что осцилляции, наблюдаемые при распространении геликонов в металлах, в локальном пределе являются проявлением эффекта де Гааза – ван Альфена. Относительная амплитуда осцилляций резонансной частоты образца (рисунков б) позволяет, как следует из формул (3) и (4), непосредственно измерить амплитуду осцилляций $\partial M / \partial B$.

В заключение авторы выражают свою признательность В.Ф.Гантмахе-ру за обсуждение результатов, И.П.Крылову за полезные дискуссии и ознакомление нас с еще неопубликованными экспериментальными данными и С.Ф.Костереву за техническую помощь.

Институт физики
твёрдого тела
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
16 апреля 1968 г.

Литература

- [1] C.C.Grimes. Plasma Effects in Solids. p.87 (Dunod, Paris, 1965).
- [2] И.П.Крылов. ЖЭТФ, 54, 1738, 1968.
- [3] P.B.Miller, P.C.Kwok. Phys. Rev., 161, 629, 1967.
- [4] Y.R.Houck, R.Bowers. RSI, 35, 1170, 1964.