

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ НЕЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ФЕРМИ ПРИ ПОМОЩИ ПОПЕРЕЧНОЙ ФОКУСИРОВКИ ЭЛЕКТРОНОВ

В.С.Цой

Развит метод измерения диаметров неэкстремальных сечений поверхности Ферми (ФП) на базе фокусировки электронов в металле поперечным однородным магнитным полем [1]. Метод применим при зеркальном отражении электронов поверхностью образца. Предложенным методом восстановлено сечение ФП висмута биссекторной плоскостью.

Предлагается метод измерения диаметров неэкстремальных сечений поверхности Ферми (ФП) при помощи фокусировки электронов (ЭФ) в металле поперечным однородным полем [1]. Метод применим при зеркальном отражении электронов поверхностью образца. Схема эксперимента следующая. На поверхности образца устанавливается два микроконтакта — эмиттер и коллектор. Через эмиттер пропускается ток, измеряется напряжение  $U$  на коллекторе в зависимости от величины магнитного поля  $H$ , лежащего в плоскости перпендикулярной линии, соединяющей эмиттер и коллектор, и направленного под углом  $\phi$  к поверхности образца. Идея использования ЭФ ясна из рис. 1, на котором ФП представлена в виде эллипсоида. Особенности в  $U(H)$  обусловлены эффективными электронами, получившими в эмиттере добавку к импульсу  $\Delta p$  и попадающими в коллектор, сохраняя ее [2]. В рассматриваемой геометрии у эффективных электронов смещение вдоль магнитного поля за время движения от эмиттера к коллектору мало (величина смещения определяется размерами микроконтактов и расстоянием  $L$  между эмиттером и коллектором). При  $\phi = 0$  в поле  $H$  в коллектор попадут электроны окрестности точки  $d^*$ , удовлетворяющей условию: хорда  $dd^* = eHL/c$ ;  $d$  — точка, симметрично  $d^*$  расположенная на ФП (см. рис. 1)  $e$  — заряд электрона,  $c$  — скорость света. Фокусировка происходит, когда  $dd^*$  становится равным экстремальному диаметру  $A_2B_2^*$ , что подтверждает точный расчет [3]. При  $dd^* = A_2B_2^*$  число эффективных электронов аномально велико. При  $\phi \neq 0$  ситуация фокусировки без отражений электронов поверхностью образца подобна случаю  $\phi = 0$ , фокусировка происходит, когда хорда  $aa^*$  становится равной экстремальному диаметру  $A_1B_1$  (см. рис. 1). Случай фокусировки в "кратных" полях при  $\phi \neq 0$  легко сводится к фокусировке без отражений от поверхности, но при другом угле наклона магнитного поля. Для примера рассмотрим фокусировку при однократном отражении поверхностью. При зеркальном отражении сохраняются энергия и тангенциальный квазиимпульс [4], следовательно при отражении от поверхности электрон из точки  $k$  на ФП перескакивает в точку  $k^*$ ; из  $A_1$  в  $B_3^*$ , из  $A_2$  в  $B_2^*$  и т. д. В поле  $H$  в коллектор попадут электроны окрестности точки  $e^*$ , удовлетворяющей условию:  $e^*k + k^*e = 2e^*k = eHL/c$ ;  $e$  — точка, сим-

метрично  $e'$  расположенная на сечении  $A_2'B_2$  (см. рис. 1). Эффективный электрон перемещается по ФП из точки  $e'$  в точку  $k$ , отразившись от поверхности образца перескакивает из  $k$  в  $k'$  и затем перемещается по ФП в точку  $e$ . Сама же точка  $e'$ , в окрестности которой находятся эффективные электроны, при увеличении  $H$  перемещается по сечению  $A_2'B_2$  к точке  $B_2$  подобно тому, как это имеет место в поле  $\bar{H}'$ , направленном перпендикулярно сечению  $A_2'B_2$  при фокусировке без отражений. Фокусировка без отражений в поле  $\bar{H}'$  произойдет, когда  $A_2'B_2 = eH'L/c$ . При однократном отражении в поле  $\bar{H}$  фокусировка произойдет, когда  $A_2'B_2 + A_2'B_2' = eHL/c$ . При двукратном отражении при фокусировке  $A_1B_1 + A_3B_3 + A_3'B_3' = eHL/c$  и т. д., что позволяет определять неэкстремальные размеры  $A_2B_2$ ,  $A_3B_3$  и т. д.

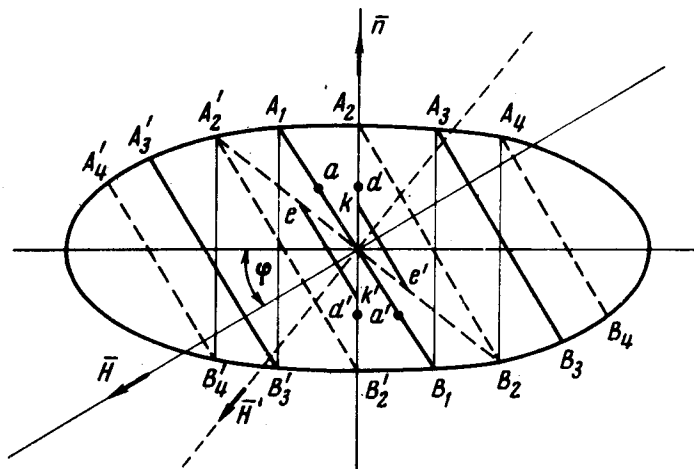


Рис. 1. Проекция ферми-эллипсоида и траекторий на нем на плоскость  $(\mathbf{n}, \mathbf{H})$ , где  $\mathbf{n}$  – нормаль к поверхности образца

Предлагаемым методом было восстановлено сечение ФП висмута плоскостью проходящей через оси  $C_1$  и  $C_3$ . Висмут был выбран из тех соображений, что отражение электронов в нем от совершенной поверхности перпендикулярной  $C_3$  происходит практически зеркально [5], а форма его ФП детально изучена [6]. Записи  $U(H)$  приведены на рис. 2. Из рис. 2 хорошо видны характерные черты ЭФ в наклонном поле. С увеличением наклона поля уменьшаются: 1) число пиков, 2) амплитуда пика, 3) отношение  $(H_{n+1}^* - H_n^*)/H_1^*$ ,  $n$  – целое число,  $(n - 1)$  – число отражений от поверхности,  $H_n^*$  – поле  $n$ -го максимума  $U$ , 4) различие между  $U(H)$  и  $U(-H)$ . Уменьшение числа пиков и амплитуда пика происходит по двум причинам: 1) уменьшается число сфокусированных электронов вследствие увеличения  $\partial v_n / \partial s$ .  $s$  – дуга представленного на рис. 2 сечения ФП,  $v_n$  – составляющая скорости вдоль поверхности образца, 2) уменьшается угол влета электрона в коллектор. Уменьшение отношения  $(H_{n+1}^* - H_n^*)/H_1^*$  легко понять из рис. 1. Обращает на себя внимание появление в наклонном поле сильного квадратичного хода у  $U(H)$

при направлениях  $\vec{H}$ , исключающих попадание электронов из эмиттера в коллектор. Этот монотонный ход обусловлен возрастанием сопротивления висмута  $\rho$  в магнитном поле. Как известно, у висмута  $\rho \sim H^2$ . В параллельном поверхности  $\vec{H}$  столь сильной зависимости не наблюдается из-за шунтирующего действия приповерхностного слоя, в котором скачущие по поверхности электроны вследствие зеркального отражения поверхностью обладают большой эффективной длиной свободного пробега. (Статический скин-эффект [7]). Различие между  $U(H)$  и  $U(-H)$  обусловлено тем, что при инверсии поля для электронов ранее попадающих

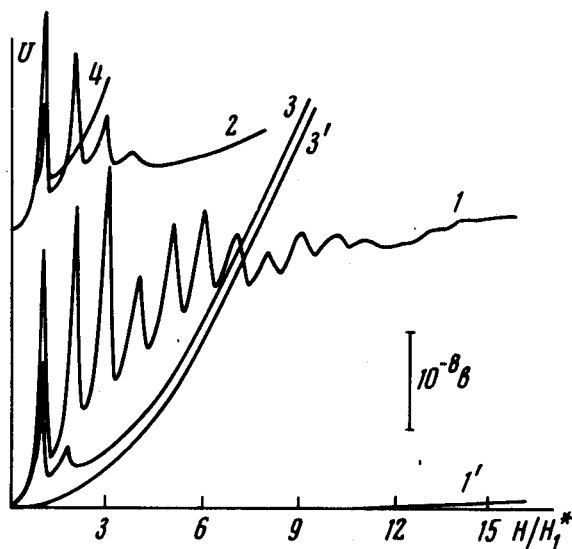


Рис. 2. Зависимость  $U(H/H_1^*)$  для различных  $\phi$ . Для кривых 1(1'), 2, 3(3'), 4.  $\phi$  соответственно равно 0, -68, -79, 83 градусам. Для кривых 1', 3' по оси абсцисс отложена величина  $-H/H_1^*$

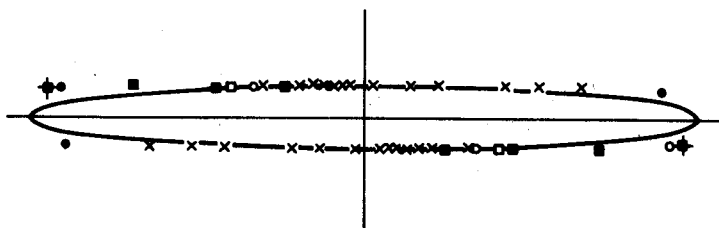


Рис. 3. Сечение ФП бисекторной плоскостью. Точки, обозначенные значками  $\times$ ,  $\bullet$ ,  $\blacksquare$ ,  $\circ$ ,  $\square$ , определены из положения соответственно 1, 2, 3, 4, 5 линии ЭФ. Для крайней точки (значок  $\blacksquare$ ) указана погрешность измерения

из эмиттера в коллектор исключается такая возможность. В сильно наклонном поле число электронов, многократно столкнувшихся с поверхностью и попавших из эмиттера в коллектор, мало, поэтому различие

между  $U(H)$  и  $U(-H)$  практически имеет место лишь в окрестности первой линии ЭФ, когда электроны имеют возможность попадать из эмиттера в коллектор не сталкиваясь с поверхностью.

На рис. 3 представлено восстановленное из измерений ЭФ в наклонном поле сечение ФП висмута. Как видно из рис. 3 совокупность диаметров, определенных из положений линий ЭФ различных номеров, образует самосогласующуюся систему точек. Сплошной линией на рис. 3 показан эллипс с отношением полуосей 10 : 65 [6]. Восстановленное из ЭФ сечение ФП имеет отклонение от эллипса, подобное определенному в [6].

Институт физики твердого тела  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
1 сентября 1975г.

### Литература

- [1] В.С.Цой. Письма в ЖЭТФ, 19, 114, 1974.
  - [2] Ю.В.Шарвин. ЖЭТФ, 48, 984, 1965.
  - [3] С.А.Корж. ЖЭТФ, 68, 144, 1975.
  - [4] А.Ф.Андреев. УФН, 105, 113, 1971.
  - [5] В.С.Цой. ЖЭТФ, 68, 1849, 1975.
  - [6] В.С.Эдельман. ЖЭТФ, 64, 1734, 1973.
  - [7] В.Г.Песчанский, М.Я.Азбель. ЖЭТФ, 55, 1980, 1968.
-