

**Российская Академия Наук  
Научный совет РАН по проблеме  
“Физика низких температур”  
Министерство промышленности, науки и  
технологий Российской Федерации  
Уральское отделение РАН  
Институт физики металлов УрО РАН  
Уральский государственный университет  
им. А.М. Горького**



**33-е ВСЕРОССИЙСКОЕ  
СОВЕЩАНИЕ ПО ФИЗИКЕ  
НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**

**Тезисы докладов секций S и N:  
«Сверхпроводимость» и  
«Наноструктуры и Низкоразмерные Системы»**

**Екатеринбург, 17-20 июня 2003 г.**

**О ВЛИЯНИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ  
В РАССЕЙАНИИ ЭЛЕКТРОНОВ НА ПРОВОДЯЩИЕ  
СВОЙСТВА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ ПРОВОДНИКОВ**

В.Р.Соболь<sup>1,2</sup>, Н.В.Франшкевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики твердого тела и полупроводников НАНБ  
ул.П.Бровки, 17, 220726 Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
пр.Ф.Скорины, 65, 220027 Минск, Беларусь

Волновые свойства электронов сказываются на переносе заряда и расширяют существующие классические представления. Квантовомеханические эффекты изучают, применяя и классические подходы для определения флуктуаций сопротивления, связанных с корреляцией последовательных актов рассеяния на разных примесях [1-3]. В сообщении анализируется электрон-примесное немагнитное взаимодействие в малых образцах на основе борновского приближения для вероятности рассеяния из состояния с волновым вектором  $k$  в  $k'$  при изотропном законе дисперсии:

$$\tau^{-1} \propto \int (1 - \cos\phi) \sum_{i,k} |v_{ik}|^2 \exp(iR_i, R_k) d\Omega; \quad (R_i, R_k) = -i(k - k')(R_i - R_k) \quad (1)$$

здесь  $\tau$  - время релаксации,  $\phi$  - угол между  $k$  и  $k'$ . ( $v_{ik}$  - блоховская составляющая матричного элемента энергии взаимодействия с примесями в положении  $R_i$  и  $R_k$  от функции  $\exp(ikr)u_k(r)$ ). Суммирование по индексам  $i$  и  $k$  независимое и имеется  $N_i^2$  членов ( $N_i$  - число примесей). Для совпадающих значений  $i$  и  $k$  часть суммы равна  $N_i$ , что и используется как конечный результат для больших образцов. Для образцов малых объемов и больших концентраций примесей с вероятен вклад недиагональных матричных элементов из-за уменьшения степени осцилляций. Отметим, что учесть недиагональные элементы через усреднение по объему сферы возможно лишь с определенными ограничениями. Интеграл

$\iiint \exp[i(k - k')R] R^2 \sin\theta d\theta dR d\varphi$  эквивалентен  $\iint \sum_{l=0}^{\infty} i^l (2l+1) j_l(kR) P_l(\cos\theta) R^2 \sin\theta d\theta dR d\varphi$  ( $j_l(kR)$  - сферические функции Бесселя,  $P_l(\cos\theta)$  - полиномы Лежандра,  $k = |k - k'|$ ) и интегрирование по углу  $\theta$  между  $k - k'$  и  $R$  приводит к функции  $f(kR)$ , которая определяется через  $P_{l=0}(\cos\theta)$  и равна  $f(kR) = 4\pi R^3 \left\{ -kR \cos(kR) + \sin(kR) \right\} (kR)^{-3}$  с пределами для  $R$  от среднего расстояния между примесями  $\Delta R$  до размера образца  $L$ . Физический смысл  $f(kR)$  сохраняется только в случае  $kR < 1$ , что подтверждается видом коэффициента  $F$ , описывающего фигурную скобку в выражении для  $f(kR)$  (Рис.1). При конечном значении вели-

чины  $R$  это справедливо для  $k - k' \rightarrow 0$ , когда частное от деления  $f(kR)$  на объем, приходящийся на атом примеси, равно  $N_i$  [4]. Чтобы оценить вклад недиагональных членов при произвольном значении  $k - k'$ , рассмотрим элементы  $\exp[-i(k - k')R \cos \theta]$ .

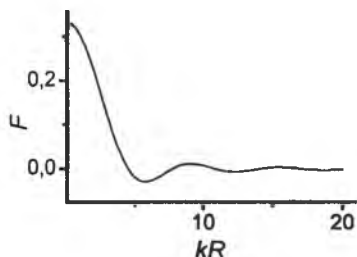


Рис. 1. Коэффициент  $F$  как функция  $kR$ .

Естественно, что для значений  $\theta$ , которые приводят к малости  $(k - k') R$ , подинтегральные члены дадут конечный вклад [5]. Если при суммировании в (1)  $\theta$  зафиксировать как  $\theta$ , получим:  $\text{Sin}[(N_i + 0.5)(k - k')\Delta R \cos \theta] [2 \text{Sin}[0.5(k - k')\Delta R \cos \theta]]^{-1} - 0.5 - i\alpha$ . Вторая сумма комплексно сопряжена указанному выражению. Поскольку фаза в (1) определяется величиной  $\cos \theta$ , и радиус - вектором примесного атома, можно оценить величину угла  $\theta$ , в пределах которого осцилляции отсутствуют и который лежит вблизи нормали к  $k - k'$ :  $|\theta' - \pi/2| \leq \pi/2 [(N_i + 0.5)(k - k')\Delta R]^{-1}$ . Видно, что  $N_i$  не должно быть большим при малости  $\Delta R$ , что означает малость размеров, когда примеси дают конечный вклад, пропорциональный  $N_i^2$ . Эффективность такого взаимодействия пропорциональна его вероятности среди других возможных исходов, то есть отношению  $\theta'$  к полному углу. В результате искомая поправка имеет порядок  $N_i [(k - k')\Delta R]^{-1}$ , и  $\tau^{-1}$  можно представить как сумму диагонального члена и поправки:  $\tau^{-1} \propto N_i (1 + c^{1/3}) \int (1 - \cos \phi) d\Omega$ . Таким образом, для малых по объему образцов интерференция амплитуд вероятности рассеяния электрона, вызываемая недиагональными матричными элементами энергии взаимодействия, приводит к уменьшению среднего времени между столкновениями  $\tau$ .

#### Список литературы

- [1] А.А.Абрикосов, Основы теории металлов. М., Наука (1987).
- [2] Ю.М.Гальперин, В.И.Козуб, ЖЭТФ, **100**, 323 (1991)
- [3] V.I.Kozub, A.A.Krokhin, J. Phys. Condens. Matter, **5**, 9135 (1993).
- [4] V.R.Sobol, O.N.Mazurenko, Herald Russian Acad. Tech. Sci, **1**, 699 (1994).
- [5] V.R.Sobol, O.N.Mazurenko, Proc.conf.Phys.Chem.Appl.Nanostruct., Minsk, 266 (1995).