*Письма в ЖЭТФ, том 17, вып. 1, стр. 35 – 37* *5 января 1973 г.*

# О ВЛИЯНИИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПОЛЯ НА ТУННЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ

*В. М. Генкин*

Пусть сверхпроводящая пленка толщины $d >> \zeta_0$, $\lambda$ ( $\zeta_0$ и $\lambda$ – соответственно, длина когерентности и глубина проникновения поля) образует туннельный контакт с каким-либо сверхпроводником, и к внешней поверхности пленки приложено переменное магнитное поле $H_0 \cos \omega$

При малых $\omega$ поле в контакт в этих условиях не проникает, а параметр сверхпроводимости пленки $\Delta$ в области контакта равен своему равновесному значению $\Delta_0$. Однако, в случае $\omega = \Delta_0$ положение может оказаться несколько иным. В работе [1] показано, что для массивного сверхпроводника первого рода параметр сверхпроводимости под действием переменного поля частоты $\Delta_0$ изменяется до расстояний порядка длины свободного пробега $\ell$ от поверхности по закону

$$\frac{\Delta(r,t)}{\Delta_0} = 1 - \frac{e^2 H_0^2}{2c^2 q_0^4} \ln\frac{\ell}{r} \cos 2\Delta_0 t \equiv 1 - g(r)\cos 2\Delta_0 t \quad (1)$$

при $\zeta_0 < r < \ell$, $q_0$ – характерный пипардовский импульс [2], предполагается, что в отсутствии поля параметр сверхпроводимости вблизи поверхности совпадает со значением в толще сверхпроводника. Поэтому, если толщина $d \approx \ell >> \zeta_0$ и $\omega = \Delta_0$, то туннельный ток будет промодулирован с частотой $2\Delta_0$, хотя непосредственно переменное поле в контакт не проникает. Этот эффект и будет рассмотрен.

Как известно, туннельный ток выражается через временные функции Грина, проинтегрированные по энергии (см., например [3], формула (6)). На один из сверхпроводников контакта высокочастотное поле непосредственно не действует, и равновесное значение щели равно $\Delta_0'$, а изменение функций Грина пленки в области контакта под действием переменного $\Delta(d,t)$ нетрудно получить из [1]

$$\delta F(t,t_1) = \delta F^*(t,t_1) = \sin\Delta_0(t+t_1)\sin\Delta_0(t-t_1)\int d\eta_p \frac{g(d)\Delta_0}{4\epsilon_p} \times$$
$$\times \exp[-i\epsilon_p(t-t_1)], \quad t > t_1$$
$$\delta G(t,t_1) = \cos\Delta_0(t+t_1)\sin\Delta_0(t_1-t)\int d\eta_p \frac{g(d)\Delta_0}{4\epsilon_p} \times \quad (2)$$
$$\times \exp[-i\epsilon_p(t-t_1)\,\mathrm{sign}(t-t_1)],$$

где $\epsilon_p^2 = \eta_p^2 + \Delta_0^2$, $\eta_p = \frac{p^2}{2m} - \mu$, $\mu$ – химический потенциал. Используя (2) находим добавочный ток через контакт $\delta J = \delta J_1 + \delta J_2$

$$\delta J_1 = \frac{g(d)}{8eR}\{[I_2(v) - I_2(-v) - I_2(v+2\omega) + I_2(-v-2\omega)] \times$$
$$\times \cos(2\omega t + 2vt - \phi) + [I_1(v+2\omega) - I_1(v)]\sin(2\omega t + 2vt - \phi) + \omega \to -\omega\},$$
$$\delta J_2 = \frac{g(d)}{16eR\Delta_0'}\left\{\left[vI_2(v) - (v+2\omega)I_2(v+2\omega)\right]\frac{\sin 2\omega t}{\omega} + \omega \to -\omega\right\},$$

где $R$ – сопротивление контакта в нормальном состоянии, $v$ – разность потенциалов на контакте, $\phi$ – разность фаз между сверхпроводниками (зависимость разности фаз от $v$ мы выписали явным образом), выра-

жение для $I_1$ приведено в [3], формула (23),

$$I_2(v) = \frac{2\Delta_0\Delta_0'}{\sqrt{v^2-(\Delta_0-\Delta_0')^2}} K\left(\sqrt{\frac{v^2-(\Delta_0+\Delta_0')^2}{v^2-(\Delta_0-\Delta_0')^2}}\right)\theta(v-|\Delta_0+\Delta_0'|).$$

Из (3) видно, что возникает переменный туннельный ток с частотой $2\Delta_0$, $2|\Delta_0 \pm v|$. Отметим, что ток $\delta J_1$ связан с одновременным туннелированием пары через барьер. Это ясно видно из временной зависимости $\delta J_1$ от $v$, тогда как $\delta J_2$ представляет собой, по существу, одночастичный ток. Ток $\delta J_1$ испытывает скачок не только при $v=\Delta_0+\Delta_0'$, но и при $v = \Delta_0' - \Delta_0$, тогда как туннельный ток в отсутствии поля при этом значении разности потенциала ($= \Delta_0' - \Delta_0$) скачка не испытывает. Отметим, что эти скачки имеют то же происхождение, что и скачки тока Джозефсона при $v = \Delta_0 + \Delta_0'$.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
30 октября 1972 г.

## Литература

[1] Б.М.Генкин, Г.М.Генкин. ФТТ, 14, 3201, 1972.

[2] А.И.Русинов, С.Л.Шаповал. ЖЭТФ, 46, 237, 1964.

[3] А.И.Ларкин, Ю.Н.Овчинников. ЖЭТФ, 51, 1535, 1966.