

## ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ФАЗЫ В СПИРАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ

*Е.И. СМИРНОВА, Р.О. РЕЗАЕВ*

Томский политехнический университет

E-mail: [katrina.smirn@gmail.com](mailto:katrina.smirn@gmail.com)

На основании системы уравнений Гинзбурга-Ландау и Пуассона [1] проведено математическое моделирование динамики параметра порядка, описывающего сверхпроводящую фазу, в спиралеобразных структурах и показано появление участков проскальзывания сверхпроводящей фазы. Система уравнений и граничных условий выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = - \left( \frac{1}{i\kappa} \nabla - \mathbf{A} \right)^2 \psi + (1 - |\psi|^2) \psi - i\kappa \varphi \psi, \quad (1)$$

где  $\mathbf{A}$  вектор потенциал;  $\varphi$  скалярный потенциал,  $\kappa = \lambda/\xi$  параметр Гинзбурга-Ландау,  $\lambda$  – глубина проникновения магнитного поля,  $\xi$  – длина когерентности. Граничные условия записываются исходя из требования равенства нулю нормальной компонентны сверхпроводящего тока на границе:

$$\left( \mathbf{n}, \frac{1}{i\kappa} \nabla - \mathbf{A} \right) \psi \Big|_{\partial D_s} = 0; \quad \left( \mathbf{n}, \frac{1}{i\kappa} \nabla - \mathbf{A} \right) \psi \Big|_{\partial D_y} = 0.$$

Уравнение на скалярный потенциал  $\varphi$  связано с решением уравнения (1):

$$\Delta \varphi = \frac{1}{\sigma} (\nabla, \mathbf{j}_{sc}),$$

где сверхпроводящий ток определяется соотношением  $\mathbf{j}_{sc} = \frac{1}{2i\kappa} (\psi^* \nabla \psi - \psi \nabla \psi^*) - \mathbf{A} |\psi|^2$ ,  $\sigma$  удельная проводимость вещества в нормальном состоянии. Плотность транспортногo тока вводится через граничные условия  $j_{tr} = \text{const}$  с помощью виртуальных контактов:

$$(\mathbf{n}, \nabla) \varphi \Big|_{\partial D_s} = -\frac{1}{\sigma} j_{tr}; \quad (\mathbf{n}, \nabla) \varphi \Big|_{\partial D_y} = 0.$$

В качестве моделируемого материала был взят карбид вольфрама WC с соответствующими параметрами.

На рисунке 1 показаны результаты моделирования: распределение магнитного поля (нормальная к поверхности компонента) и параметра порядка в спиральных и планарных структурах. Из анализа рисунка видно, что в случае спиральных структур, распределение параметра порядка представляет совокупность участков с проскальзыванием фазы. Ожидается, что такие участки могут давать немотонный вид вольт-амперной характеристики по сравнению с планарными структурами (см. нижнюю панель рис.1.)

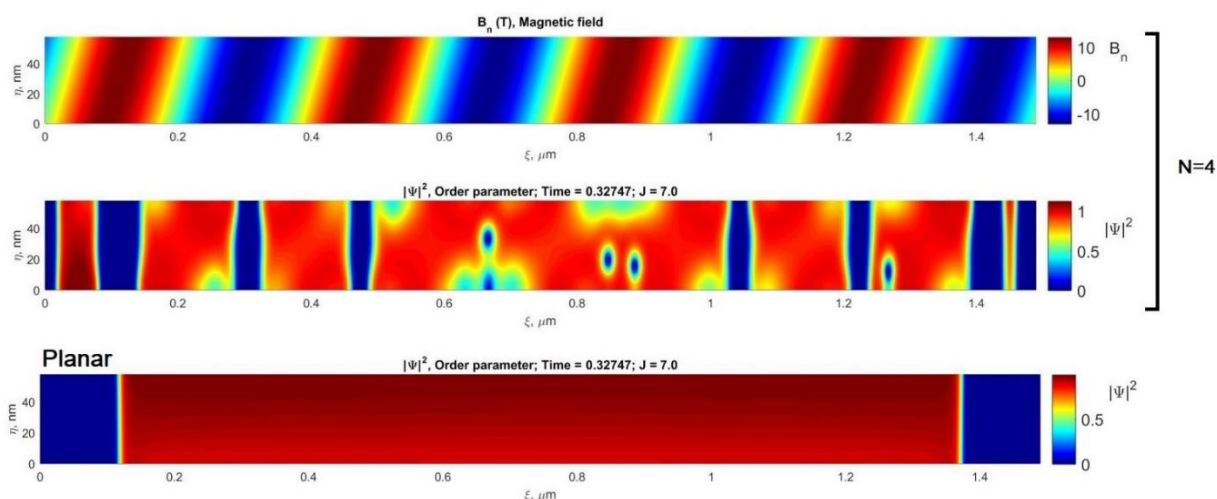


Рисунок 1 Распределение магнитного поля и параметра порядка для ширины спирали  $W = 50$  nm, радиуса  $R = 50$  nm, шага  $P = 200$  nm и числа витков  $N = 4$ . Нижняя панель соответствует распределению параметра порядка на планарной структуре.

Прикладываемый транспортный ток  $I \sim 0.6I_c$ .

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00228.

#### Список литературы

1. M. Tinkham. Introduction to Superconductivity. – McGraw-Hill: New York, –1996.
2. Fomin V.M., R.O. Rezaev, E.A. Levchenko, D. Grimm, and O.G. Schmidt Superconducting properties of nanostructured microhelices // J. Phys.: Condens. Matter. – 2017. – 29(1). – pp. 395301-395310.