

## Діодний ефект у надпровідних контактах поблизу критичної температури

**Сахнюк П.В., Романчук О.М.**

Волинський національний університет імені Лесі Українки,  
кафедра теоретичної та комп'ютерної фізики,  
пр. Волі, 13, Луцьк, 43000, Україна  
e-mail: [Sakhniuk.Pavlo@vnu.edu.ua](mailto:Sakhniuk.Pavlo@vnu.edu.ua)

У даній роботі теоретично досліджено умови виникнення ефекту джозефсонівського діода в тунельних надпровідних контактах (типу SIS) за відсутності феромагнітних шарів або спін-орбітальної взаємодії. Основна увага приділена області температур, близьких до критичної, та за умови суттєвої ролі ефектів розпаровування. Це приводить до формування специфічної несинусоїдної залежності густини надпровідного струму від різниці фаз, яка параметризується прозорістю бар'єра та температурою [1].

У наближенні короткого контакту (довжина контакту значно менша лондонівської глибини проникнення) розглянуто модель з порушеною просторовою симетрією розподілу густини критичного струму контакту. Розглянуто випадки симетричного розподілу густини критичного струму та асиметричного. Показано, що симетричний розподіл не приводить до виникнення джозефсонівського діодного ефекту незалежно від форми залежності струму від різниці фаз. Для асиметричного розподілу ситуація виглядає інакше, за певних умов у таких контактах може проявлятися діодний ефект [2, 3].

Для з'ясування умов виникнення діодного ефекту нами отримано аналітичні вирази та проведено чисельне моделювання залежності критичного струму від магнітного потоку.

Отримані результати демонструють, що:

1. У контактах із синусоїдною залежністю струму від фази асиметрія густини критичного струму сама по собі не приводить до діодного ефекту.
2. Наявність ангармонічності, зумовленої скінченною прозорістю бар'єру, у поєднанні з просторовою асиметрією густини критичного струму, приводить до прояву магнітокерованого джозефсонівського діодного ефекту.
3. Ефективність діода сильно залежить від міри прояву ангармонічності. Це відкриває можливість використання міри прояву діодного ефекту для вимірювань параметрів тунельних бар'єрів та оцінки їхньої прозорості.

З'ясовано, що джозефсонівський діодний ефект має ту ж фізичну природу, що й у контактах зі звуженням [2], а саме – порушення спектральної симетрії струмових станів. Однак, у розглянутому нами SIS-контакті, ця асиметрія має специфічну залежність від температури та прозорості, закладену в параметрі ангармонічності, що відрізняє отримані результати від попередніх досліджень.

Таким чином, нами показано, що контрольована асиметрія густини критичного струму тунельних контактів може бути використана для створення елементів надпровідникової електроніки з діодними властивостями, характеристики яких можна налаштовувати шляхом зміни прозорості бар'єру.

1. Pastukh O. Yu., Shutovskii A. M., Sakhnyuk V. E. The effect of depairing on the current-phase relation in SIS junctions. *Low Temp. Phys.* 2017. Vol. 43. P. 664.
2. Hovhannisyan R. A. Intrinsic nonreciprocity in asymmetric Josephson junctions with non-sinusoidal current-phase relations. *Phys. Rev. Research.* 2025. Vol. 7. P. 023279.
3. Nadeem M., Fuhrer M. S., Wang X. The superconducting diode effect. *Nat. Rev. Phys.* 2023. Vol. 5. P. 558.