

# Kumuliacinis magnetinio srauto prasiskverbimas į II rūšies superlaidininko plonąjį sluoksnį

## Cumulative magnetic flux penetration into II-type superconductor thin film

Oleg Kiprijanovič, Steponas Ašmontas

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, LT-10257, Vilnius

[oleg.kiprijanovic@ftmc.lt](mailto:oleg.kiprijanovic@ftmc.lt)

Po aukštatemperatūrinio superlaidumo atradimo praėjo jau daugiau nei 30 metų. Superlaidumas yra jautrus reiškinys, suardomas viršijus kritinę temperatūrą, kritinį magnetinį lauką ar kritinę srovę. Puslaidininkų fizikos institute tyrimų intensyvumas susilpnėjo šio amžiaus pradžioje, bet liko ir neišaiškinti klausimai, kaip magnetinio srauto prasiskverbimo į plonąjį sluoksnį, taip ir į superlaidžių bandinių tūrį, ypatumai.

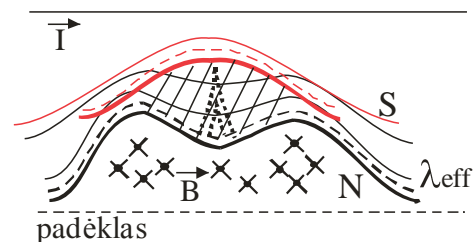
Institute naudojant nanosekundinės trukmės impulsus buvo nagrinėjami plonieji YBaCuO sluoksniai. Įtampos atsiradimo momentu buvo registruojama kritinė srovė. Suardymo srovė nustatoma, kai didėjant srovei, sluoksnis suardomas siauru kanalu skersai juostelės. Plonose 200–400 nm storio juostelėse buvo pasiekti kritinės srovės tankiai artimi maksimaliai reikšmei  $10^7$  A/cm<sup>2</sup> [1]. Eksperimentai parodė, kad augant kritinės srovės tankiui, t.y., kai superlaidžios S būsenos kokybė gerėja, sluoksnio suardymo srovės reikšmė vis artėja prie kritinės srovės reikšmės. Buvo aišku, kad šis reiškinys surištas su sukuriu, II rūšies superlaidininko magnetinio srauto kvantų, kraštinio barjero nugalejimu ir įsiskverbimu į juostelę. Sukuriai įsiskverbia iš priešingų juostelės kraštų taškų ir išnyksta viduryje. Remdamiesi fizikiniais dėsniais pateiksime aukšto kritinio tankio juostelių suardymo priežasčių analizę, iš kurios bus aprašytas srauto prasiskverbimo mechanizmas.

Nagrinėjant suardytų superlaidžių sluoksnį skenuojančio elektronų mikroskopo nuotraukas, nustatyta, kad srauto prasiskverbimo metu neilgas plyšys atsiranda statmenai srovės linijoms. Pagal plyšių krypčių keitimą galima atstatyti srovės linijų krypčių keitimą. Iš šių nuotraukų paaiškėjo, kad srovės judėjimo metu pasireiškia kumuliacinis efektas. Šis efektas pasireiškia tik kai kampu susiduria nesuspaudžiamos terpės ir susiformuoja kumuliacinė čiurkšlė. Pvz., kai lašelis kritęs į vandenį formuoja įdubą, kuriai kolapsuojant čiurkšlė juda į viršų.

Juostelėms įvestas  $\lambda_L^2/d$  efektyvus prasiskverbimo gylis. Čia  $d$  – juostelės storis, o  $\lambda_L$  – Londono prasiskverbimo gylis. Mūsų atveju toks gylis yra 1.1-1.3 μm ir kumuliaciniai įvykiai nuotraukose palyginami su šiuo dydžiu. Taigi riboje tarp S ir normalios N būsenų efektyvus prasiskverbimo gylis su Meisnerio srovėmis turi nesuspaudžiamumo savybes.

Darbe [2] parodyta, kad į ploną sluoksnį gali įsiskverbti ne tik pavieniai sukuriai, o ir kaip padidinto tankio, artimo antrajam kritiniam laukui  $H_{c2}$ , sukurių ryšulys. Jeigu ryšulys dėl stipraus Meisnerio efekto neįsiskverbs į sluoksnį, juostelės krašte susiformuos pusiau elipsinės formos N būsenos. Nagrinėsime situaciją, pavaizduotą 1 pav., kai dėl lokalaus srovės linijų

išlinkimo prie krašto, Lorencio jėga  $F_L$  traukianti srautą į vidų turės dedamąją išilgai transportinės srovės  $I$ . Dėl to N sritis iš abiejų pusių apeina didžiausio pasipriešinimo kryptį. Šio judėjimo metu išsiskiria energija ir čia yra kritinės srovės požymis. Augant kuproms, S srovė įdubos centre mažės. Mažės ir išstūmimo jėga.



1 pav. Kumuliacinės čiurkšlės formavimas S-N ribos kolapso momentu

Katastrofų teorijoje [3] nagrinėtas strypo perpliauškinimo uždavinys. Jame, jei sulenktame žemyn strype pridedama nedidelė jėga iš apačios į viršų, strypas katastrofiškai perpliauškinamas į viršų. Mūsų atveju kolapso momentu atsiranda kumuliacinė čiurkšlė dėl S-N ribos nesuspaudžiamumo savybių. 1 pav. S-N ribos padėtis po kolapso pavaizduota raudonai. Užstrichuota akies formos sritis yra tipinis suardyto sluoksnio tekstūros elementas. Aprašytas atvejis charakteringas suardymo srovės pasiekimui. Kumuliacinės čiurkšlės greitis tuo didesnis, kuo stipresnis Meisnerio efektas. Jos judėjimo metu viršūnėje koncentruojasi srovė ir lokaliai gali viršyti ne tik kritinę, bet ir suardymo srovę.

Tokiu būdu geros kokybės sluoksnuose magnetinio srauto įsiskverbimo metu pasireiškia kumuliacinis efektas. Kumuliacinės čiurkšlės poveikis, jos greitis ir stiprus srovės didėjimas jos viršūnėje veda prie sluoksnio suardymo. Tuo ir paaiškinama tai, kad suardymo srovės reikšmės vis artėja prie kritinės srovės reikšmių. Turint tokį kokybinį modelį, galima tiksliau paruošti eksperimentą.

*Reikšminiai žodžiai: II rūšies superlaidininkas, plonas sluoksnis, magnetinio srauto kvantai, Meisnerio efektas, kumuliacinis efektas, magnetinio srauto prasiskverbimas*

### Literatūra

- [1] S. Balevičius, F. Anisimovas, R. Butkutė, A. Čenys, V. Jasutis, A. Jukna, O. Kiprijanovič, V. Lissauskas, B. Vengalis, Lietuvos Fizikos Žurnalas, **36**, 233-235 (1996).
- [2] V. Pyragas, S. Balevičius, O. Kiprijanovič, A. Jukna, Vacuum technology and equipment, Publishing of Moscow state university, 3-4 (1999).
- [3] T. Poston, I. Stewart, *Catastrophe Theory and Its Applications* (New York, Dover, 1998).