

# Kumuliaciniai ir magneto-kumuliaciniai reiškiniai S-N riboje plonų YBaCuO sluoksnių spartaus S-N perjungimo metu

## Cumulative and magneto-cumulative phenomena at the S-N border during fast S-N switching of thin YBaCuO films

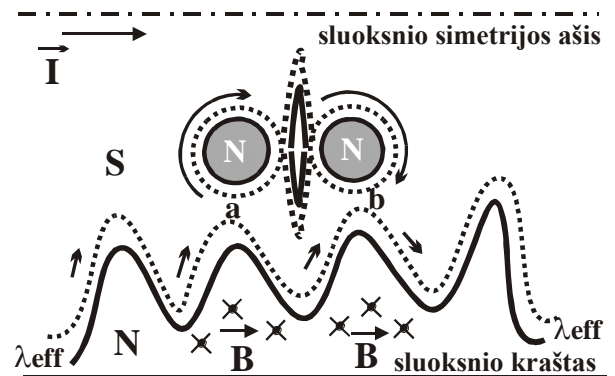
Oleg Kiprijanovič, Linas Ardaravičius ir Steponas Ašmontas  
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, LT-10257, Vilnius  
[oleg.kiprijanovic@fmc.lt](mailto:oleg.kiprijanovic@fmc.lt)

Šiomet akademiko A. Sacharovo gimimui sukanka 100 metų. Mokslo pasaulis prisimena jį kaip iškilų mokslininką, pasižyminti milžinišku darbštumu ir dalyvaujančio branduolinio ginklo sukūrimo [1]. Kiti prisimena jį kaip drąsų kovotoją už žmogaus teises. Nėra abejonės, kad jo teisių gynėjo veikla priartino Pabaltijo respublikų nepriklausomybės atgavimą.

A. Sacharovui priklauso stipraus magnetinio lauko gavimo būdas – gero laidumo metalinio cilindro suspaudimas su jame indukuotu magnetiniu lauku per milisekundę naudojant sprogmenį – magnetinę kumuliaciją. Yra žinoma, kad superlaidininkas išstumia magnetinį lauką – Meisnerio efektas; be to, pagautas magnetinis srautas uždareme kontūre nesikeičia, keičiant jo formą. Tai būtų ideali medžiaga magnetinei kumuliacijai, tačiau superlaidi būseną (S) yra labai jautri mechaninei deformacijai, stipriems magnetinimo laukui ir srovei. Iškyla klausimas, kokių būdu ir per kokį laiką reikia suspausti superlaidų kontūrą, norint sukumuluoti magnetinį lauką?

Kumuliacinės čiurkšlės (KČ) formavimas išlenktoje S-N riboje (čia N - normali būseną) žingsninio N zonos prasiskverbimo metu, vykstant S-N perjungimui YBaCuO plonuose sluoksniuose, buvo pristatytas ankščiau [2]. Darbe [3] parodyta, kad dėl savo ypatingų savybių, S-N riba (jos plotis  $\lambda_{\text{eff}}$ ) judėjimo metu gali būti nagrinėjama kaip atskiras objektas. S-N ribos nesuspaudžiamumo savybė, sąlygota S srovėmis išstumiančiomis magnetinį lauką, yra tas lemiamas faktorius, atsakingas už KČ pasirodymą. Žingsninio judėjimo metu dėl magneto-hidrodinaminių reiškinų S-N ribos išlinkimų perplaiškinimas pastoviai generuoja KČs. Dėl šių priežasčių S-N ribos forma N zonos prasiskverbimo metu yra chaotiška. Kuo didesnis  $j_c$ , tuo plonesnė ir stipresnė S-N riba, tuo aštresnis sueinamumo kampas, ir tuo didesnis KČ greitis. Įdomus atvejis yra dviejų priešiška nukreiptų KČ formavimas. Bet prieš tai apsvarstysime magnetinę kumuliaciją.

1 pav. iš viršaus pavaizduota nestabili S-N riba prie sluoksnio krašto stipriu kumuliaciniu efektu atveju ( $\lambda_{\text{eff}} = 1.2 \mu\text{m}$ ,  $j_{c\lambda_{\text{eff}}} = 1.6 \cdot 10^8 \text{ A/cm}^2$  ir sluoksnio storis  $d = 0.15 \mu\text{m}$ ), kai jos tamprumo ir lauko išstūmimo savybės stipriausios. Nestabilumui vystantis, didėja „kuprų“ amplitudės, jos gana gyliai įsiskverbia į S būseną. Taškuose **a** ir **b** srovės linijos persijungia ir atsiranda uždaros N sritys, kurios taps apskritimais, apsupamais S srovėmis. Dėl gilaus prasiskverbimo jų spindulys  $r_1$  yra apie  $3.6 \mu\text{m}$ .



1 pav. Dviejų priešiška nukreiptų KČ formavimas po magnetinės kumuliacijos. **a** ir **b** – srovės perjungimo taškai, mažos rodyklės – lokali srovės kryptis.

Baigtinis  $r_2$  yra apie  $0.8 \mu\text{m}$ , kadangi tamsios dėmės nuotraukose turi spindulį  $\sim \lambda_{\text{eff}}$  [3]. S būseną suspaudžia apskritimo sritis, o proceso metu galioja srauto tvermės dėsnis. Skaičiavimus atliksime pagal elementarią formulę apskritimo srovėms. Šis dėsnis nulemia, kad srovė ir srovės tankis padidės  $r_1/r_2 = 4.5$  karto, o magnetinės kumuliacijos koeficientas  $B_2/B_1 = 20.5$  karto, jeigu apskritimo srovės pradinis tankis yra  $0.4 j_{c\lambda_{\text{eff}}}$ . Kumuliacija pasibaigia, kai srovės tankis viršija Ginzburgo-Landau porų suardymo srovės tankį, ir po S-N perjungimo prasideda N zonos plėtimasis. Jeigu zonos buvo arti, kaip 1 pav., susiformuos dvi priešiška nukreiptos KČs.

Žingsnis, kuriuo metu S-N ribos išlinkimas persitvarko, trunka mažiau nei 35 ps. Nestabilumo išsivystymas ir srovės perjungimas žingsnio metu trunka apie 25 ps. Iš to seka, kad kumuliacija turėtų įvykti už laiką trumpesnį negu 10 ps. Tokiu būdu, ypatingos S-N ribos savybės leidžia jai ne tik suformuoti KČs, bet ir sukumuluoti magnetinį lauką, jei N sričių naikinimas vyks sparčiau nei už 10 ps.

*Reikšminiai žodžiai: II rūšies superlaidininkas, S-N perjungimas, S-N ribos išlinkimas, kumuliacinės čiurkšlės, magnetinė kumuliacija.*

### Literatūra

- [1] B. L. Altshuler, Physics-Uspekhi, **191**(5) 449–474 (2021). DOI: [10.3367/UFNe.2021.02.038946](https://doi.org/10.3367/UFNe.2021.02.038946)
- [2] O. Kiprijanovič, S. Ašmontas, 41st Lithuanian National Physics Conf., Program and abstract book, 315 (2015).
- [3] O. Kiprijanovič, L. Ardaravičius, J. Gradauskas, Č. Šimkevičius, S. Keršulis, S. Ašmontas, Supercond. Sci. Technol. **33** 095013 (8pp) (2020). DOI.10.1088/1361-6668/aba351