

I. RAPORTARE ȘTIINȚIFICĂ

FAZA DE EXECUȚIE NR. 2

CU TITLUL Aplicație a teoriei magnetoconductanței la sisteme topologice multibandă.

☒ **RST – raport științific și tehnic anual**

RST – Raport Științific și Tehnic Anual

- **Titlul proiectului^a** Teoria cuantică a magnetotransportului în câmpuri slabe pentru sisteme topologice multibandă [Quantum theory of weak field magnetotransport for topological multiband systems]
- **Nr. contractului** 15BMFR din 26/08/2024
- **Anul finalizării** 2025
- **Durata proiectului** 26/08/2024 – 31/12/2025 (16 luni)
- **Partener român^b** Claudiu Ortensie Filip, Director General al Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare de Tehnici Izotopice și Moleculare, Cluj-Napoca, România
- **Director de proiect^c** Doru Cristian Sticleț, Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare de Tehnici Izotopice și Moleculare, Cluj-Napoca, România
- **Partener străin^d** Frédéric Piéchon, Centre National de la Recherche Scientifique și Université Paris-Saclay
- **Obiective generale urmărite**
 1. Dezvoltarea unei teorii perturbative microscopice diagramatice a magnetotransportului în sisteme multibandă, până la ordinul doi în câmpul magnetic.
 2. Aplicarea formalismului de magnetotransport cuantic obținut pe diferite modele de materiale topologice de interes. Aici, un obiectiv important va fi acela de a evidenția toate corecțiile cuantice care nu pot fi obținute printr-o abordare Boltzmann semiclassicală.
- **Obiectivele fazei de execuție**

Aplicație a teoriei magnetoconductanței la sisteme topologice multibandă.

- **Descrierea științifică și tehnică a rezultatelor și gradul de realizare a obiectivelor**

Obiectivul principal este obținerea unei teorii generale pentru magnetoconductanță la ordinul doi în câmpul magnetic pe sisteme bidimensionale. Ideea centrală a fost dezvoltarea în calculul perturbativ într-o teorie invariantă la etalonare, prin expansiune în fluxul magnetic ce penetrează suprafața materialului. În această teorie, cele două funcții Green care intră în corelatorul viteză-viteză sunt dezvoltate în ordinul doi în câmpul magnetic, și adițional nucleul este modificată de o fază care depinde de fluxul magnetic. Aceasta din urmă este dezvoltată și ea în câmp magnetic mic. Am exprimat termenii din teoria perturbației în funcție de cantități geometrice precum curbura Berry și tensorul geometric. Respectivul formule sunt destul de complicate pentru că sunt obținute după urma matematică pentru produse de până la șase funcții Green care apar în dezvoltare. Pentru a verifica veridicitatea calculelor am efectuat diverse teste.

Am comparat rezultatele cu lucrări recente din domeniu. În special, un articol recent arată cum un sistem cu două benzi, dintre care una plată are contribuții în magnetoconductanță sub forma curburii Berry la pătrat [[arXiv:2506.09535 \(2025\)](https://arxiv.org/abs/2506.09535)]. Folosind formalismul dezvoltat am demonstrat că acest rezultat este probabil neadevărat. Contribuțiile benzii plate au fost în calculul nostru zero.

Calculele noastre au fost inițial obținute în spațiul impulsului, în limita unui sistem infinit. În cadrul vizitelor reciproce am abordat diverse direcții pentru a efectua calcule în spațiul finit. Aici dificultatea rezidă în faptul că nu există suprapunere puternică între stări apropiate și corelatorii curent-curent tind la zero.

Am abordat această problemă și din limita opusă a câmpului magnetic puternic. Spectrul electronic în prezența unui astfel de câmp B se reorganizează sub forma unor nivele electronice plate, nivelele Landau. Calculele de transport sunt caracterizate, datorită spectrului discret, de oscilații de tip Shubnikov-de Haas.

Limita câmpului slab nu este trivială deoarece faza oscilațiilor depinde de $1/B$, și astfel funcțiile caracteristice pentru magnetotransport nu sunt analitice în limita câmpului mic. O altă dificultate provine din faptul că nivelele Landau nu sunt în general determinabile printr-un calcul analitic. Aici am construit modele continue cu spectru Landau accesibil analitic. Apoi am folosit două metode care permit obținerea limitei de câmp slab: metode bazate pe sumări Poisson și dezvoltări Euler-Maclaurin.

Obiectivele colaborării au fost în majoritate atinse. Totuși rămâne încă de obținut comparația cu teoria semiclassicală Boltzmann și astfel identificarea efectelor care nu sunt conținute în teoria semiclassicală, dar care sunt prezente în formalismul cuantic. Așteptăm ca aceste rezultate precum și articole adiționale să fie realizate în anul următor.

- **Vizite de lucru efectuate pe durata proiectului bilateral**

Au fost efectuate 4 vizite de lucru pe durata proiectului, 2 vizite de către partenerul francez în România și 2 de către partenerul român în Franța.

Vizitele partenerului român:

06/10/2024 – 20/10/2024

29/06/2025 – 13/07/2025

Vizitele partenerului francez:

21/09/2024 – 4/10/2024

22/09/2025 – 03/10/2025

- **Posibilități de valorificare economică a rezultatelor obținute**

Cercetarea este de natură fundamentală cu posibilități reduse de valorificare pe termen scurt și mediu. Pe termen lung, rezultatele obținute au potențial de aplicabilitate în proiectarea de materiale electronice avansate, unde efectele magnetice de ordin înalt influențează performanța pentru senzori magnetici, materiale pentru spintronică și dispozitive cuantice 2D. Totodată pot juca un rol în optimizarea modelelor numerice folosite în industrie, prin furnizarea unor formule precise și verificabile pentru conductivități în câmp magnetic. Instrumentele software simbolice dezvoltate în cadrul acestui proiect au potențialul de a fi extinse și rafinate în continuare, până la un nivel la care ar putea fi utilizate inclusiv în aplicații industriale.

- **Indicatori științifici.**

Articole publicate

1. D. Sticlet, B. Dóra, D. Szombathy, G. Zaránd, C. P. Moca, *Nonstabilizerness in open XXZ spin chains: Universal scaling and dynamics*, [Phys. Rev. Research 7, 043130 \(2025\)](#).
2. D. Sticlet, R. Tetean, Coriolan Tiușan, Skymionic qubits stabilized by Dzyaloshinskii-Moriya interaction as platforms for qubits and quantum gates, [Phys. Rev. B 112, 195435 \(2025\)](#).

Articole în evaluare, accesibile pe <https://arxiv.org/>.

1. C. P. Moca; D. Sticlet, D. Balázs, Non-stabilizerness as a Diagnostic of Criticality and Exceptional Points in Non-Hermitian Spin Chains, [arXiv:2510.17248 \(2025\)](#). În evaluare la revista [Quantum](#).
2. C. P. Moca, D. Sticlet, B. Dóra, A. Valli, D. Szombathy, G. Zaránd, Non-stabilizerness generation in a multi-particle quantum walk, [arXiv:2510.17248 \(2025\)](#). În evaluare la Phys. Rev. Lett.

Conferințe și seminarii

1. D. Sticlet, *Stabilizer Rényi entropy in many-body quantum spin systems*, seminar științific cu ocazia vizitei partenerului român în Franța în cadrul Séminaire de Théorie de la Matière Condensée sur le Plateau, un seminar științific organizat între laboratoarele universității Paris-Saclay în 3 iulie 2025.
2. D. Sticlet, *Nonstabilizerness in many-body quantum systems*, Processes in Isotopes and Molecules, Cluj-Napoca, România, 16-19 septembrie 2025 (prezentare orală).
3. F. Piéchon, *Local orbital magnetization: Local Berry curvature*, GDR MEETICC Plenary Conference, Banyuls-sur-Mer, Franța, noiembrie 17-21, 2025 (prezentare orală).
4. D. Sticlet, *Stabilizer Rényi entropy in one-dimensional quantum spin systems*, The 17th International Conference on Physics of Advanced Materials, Hamamatsu, Japonia, 16-23 noiembrie 2025 (prezentare orală, invitată, online).

• Indicatori de realizare a fazei

Tipul indicatorilor	Denumirea indicatorilor	UM/an	Valoare
Indicatori de rezultat	Articole publicate in reviste indexate ISI	Nr.	2
	Articole acceptate in reviste indexate ISI	Nr.	0
	Articole in evaluare in reviste indexate ISI	Nr.	2
	Articole publicate in reviste indexate in baze de date internationale	Nr.	0
	Articole acceptate in reviste indexate in baze de date internationale	Nr.	0
	Articole in evaluare in reviste indexate in baze de date internationale	Nr.	0
	Brevete (sau cereri de brevet) Nationale	Nr.	0
	Brevete (sau cereri de brevet) Internationale	Nr.	0
	Participari conferinte	Nr.	3
	Carti	Nr.	0
	Capitole de carte	Nr.	0
	Produse	Nr.	0
	Produse Informatice	Nr.	0
	Tehnologii	Nr.	0

	Servicii	Nr.	0
	Servicii Informatice	Nr.	0
	Studii	Nr.	0
	Alte Rezultate. Seminar științific	Nr.	1