

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-16-0186****Exotické kvantové stavy nízkorozmerných spinových a elektrónových systémov**Zodpovedný riešiteľ **doc. RNDr. Jozef Strečka, PhD.**Príjemca **Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach - Prírodovedecká fakulta****Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený**

Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach

Fyzikálny ústav SAV

Ústav experimentálnej fyziky SAV

Technická univerzita v Košiciach

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Institute for Condensed Matter Physics (Lviv, Ukrajina)

Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme (Dražďany, Nemecko)

Osaka University (Osaka, Japonsko)

Kobe University (Kobe, Japonsko)

Universidade Federal de Alagoas (Maceio, Brazília)

Universidade Federal de Lavras (Lavras, Brazília)

University of Lorraine (Nancy, Francúzsko)

University CY Cergy-Pointoise (Paríž, Francúzsko)

Lodz University (Lodz, Poľsko)

Adnan Menderes University (Aydin, Turecko)

University of Vienna (Viedeň, Rakúsko)

National Defence University (Helsinki, Fínsko)

Saint-Petersburg State University (Petrohrad, Rusko)

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

Nie je relevantné pre tento typ projektu, ktorý mal charakter základného výskumu.

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

1. H. Ueda, K. Okunishi, R. Krčmár, A. Gendiar, S. Yunoki, T. Nishino, Critical behavior of the two-dimensional icosahedron model, Physical Review E 96 (2017) 062112. doi: 10.1103/PhysRevE.96.062112

2. L. Gálisová, Magnetization plateau as a result of the uniform and gradual electron doping in a coupled spin-electron double-tetrahedral chain, Physical Review E 96 (2017) 052110. doi: 10.1103/PhysRevE.96.052110

3. J. Strečka, K. Karl'ová, V. Baliha, O. Derzhko, Ising versus Potts criticality in low-temperature magnetothermodynamics of a frustrated spin-1/2 Heisenberg triangular bilayer,

- Physical Review B 98 (2018) 174426. doi: 10.1103/PhysRevB.98.174426
4. A. Bobák, E. Jurčišinová, M. Jurčišin, M. Žukovič, Frustrated spin-1/2 Ising antiferromagnet on a square lattice in a transverse field, Physical Review E 97 (2018) 022124. doi: 10.1103/PhysRevE.97.022124
 5. R. Krčmár, L. Šamaj, Original electric-vertex formulation of the symmetric eight-vertex model on the square lattice is fully nonuniversal, Physical Review. E 97 (2018) 012108. doi: 10.1103/PhysRevE.97.012108
 6. M. Žukovič, G. Kalagov, Magnetic quasi-long-range ordering in nematic systems due to competition between higher-order couplings, Physical Review E 97 (2018) 052101. doi: 10.1103/PhysRevE.97.052101
 7. R. Krčmár, J. Genzor, Y. Lee, H. Čenčariková, T. Nishino, A. Gendiar, Tensor-network study of quantum phase transition on Sierpiński fractal, Physical Review E 98 (2018) 062114. doi: 10.1103/PhysRevE.98.062114
 8. H. Čenčariková, J. Strečka, Enhanced magnetoelectric effect of the exactly solved spin-electron model on a doubly decorated square lattice in the vicinity of a continuous phase transition, Physical Review E 98 (2018) 062129. doi: 10.1103/PhysRevE.98.062129
 9. L. Šamaj, E. Trizac, Electric double layers with surface charge modulations: Exact Poisson-Boltzmann solutions, Physical Review E 100 (2019) 042611. doi: 10.1103/PhysRevE.100.042611
 10. M. Žukovič, XY model with antinematic interaction, Physical Review E 99 (2019) 062112. doi: 10.1103/PhysRevE.99.062112
 11. K. Karl'ová, J. Strečka, T. Verkholyak, Cluster-based Haldane phases, bound magnon crystals and quantum spin liquids of a mixed spin-1 and spin-1/2 Heisenberg octahedral chain, Physical Review B 100 (2019) 094405. doi: 10.1103/PhysRevB.100.094405
 12. K. Karl'ová, J. Strečka, M.L. Lyra, Breakdown of intermediate one-half magnetization plateau of spin-1/2 Ising-Heisenberg and Heisenberg branched chains at triple and Kosterlitz-Thouless critical points, Physical Review E 100 (2019) 042127. doi: 10.1103/PhysRevE.100.042127
 13. J. Strečka, L. Gálisová, T. Verkholyak, Enhanced magnetoelectric effect near a field-driven zero-temperature quantum phase transition of the spin-1/2 Heisenberg-Ising ladder, Physical Review E 101 (2020) 012103. doi: 10.1103/PhysRevE.101.012103
 14. J. Strečka, C. Ekiz, Nature of intermediate magnetization plateaus of a spin-1/2 Ising-Heisenberg model on a triangulated Husimi lattice resembling a triangulated kagome lattice, Physical Review E 102 (2020) 012132. doi: 10.1103/PhysRevE.102.012132
 15. H. Ueda, K. Okunishi, K. Harada, R. Krčmár, A. Gendiar, S. Yunoki, T. Nishino, Finite-m scaling analysis of Berezinskii-Kosterlitz-Thouless phase transitions and entanglement spectrum for the six-state clock model, Physical Review E 101 (2020) 062111. doi: 10.1103/PhysRevE.101.062111
 16. E. Pospíšilová, R. Krčmár, A. Gendiar, L. Šamaj, Full nonuniversality of the symmetric 16-vertex model on the square lattice. Physical Review E 102 (2020) 012125 (8 strán).doi: 10.1103/PhysRevE.102.012125
 17. L. Šamaj, M. Trulsson, E. Trizac, Strong-coupling theory of counterions with hard cores between symmetrically charged walls, Physical Review E 102 (2020) 042604 (16 strán). doi: 10.1103/PhysRevE.102.042604
 18. M. Jaščur, M. Rončík, T. Balcerzak, K. Szałowski, A novel critical behavior of the spin-1 Blume–Capel model with a distance dependent nearest-neighbor exchange interaction and magneto-elastic coupling, Journal of Physics: Condensed Matter 32 (2020) 335801. doi: 10.1088/1361-648X/ab85f5
 19. T. Verkholyak, J. Strečka, Modified strong-coupling treatment of a spin- 1/2 Heisenberg trimerized chain developed from the exactly solved Ising-Heisenberg diamond chain, Physical Review B 103 (2021) 184415. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.103.184415>
 20. T. Verkholyak, J. Strečka, Fractional magnetization plateaux of a spin-1/2 Heisenberg model on the Shastry-Sutherland lattice: effect of quantum XY interdimer coupling, Scipost Physics (2022), prijaté na publikovanie - v tlači, <https://scipost.org/submissions/2104.05797v4/>

Uplatnenie výsledkov projektu

Projekt mal charakter základného výskumu, pričom jeho výsledky majú potenciálne využitie pri vývoji moderných kvantových technológií zameraných na realizáciu kvantových výpočtov

a kvantového spracovania informácie pomocou spinu elektrónu. Napriek teoretickému charakteru výskumu sa nám podarilo vymedziť hranice použiteľnosti vybraných nízkorozmerných magnetických materiálov pre realizáciu kvantového počítania v praxi stanovením prahovej hodnoty teploty a magnetického poľa, pod ktorými tieto kvantové spinové systémy pretrvávajú kvantovo previazané. Významnou pridanou hodnotou projektu bola vedecká výchova mladých pracovníkov keď do riešenia čiastkových úloh projektu bolo celkovo zapojených 9 doktorandov, pričom 5 z nich už úspešne obhájilo témy svojich dizertačných prác. Okrem toho projekt umožnil stabilizáciu jednej talentovanej vedeckej pracovníčky vytvorením postdoktorandského miesta na dobu viac ako 2 roky a prispel tak k zmierneniu odlivu talentovaných mladých vedcov zo slovenského výskumného priestoru.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Projekt prispel k hlbšiemu pochopeniu exotických kvantových stavov spinových a elektrónových systémov vrátane stavu kvantovej spinovej kvapaliny, kryštálu valenčných väzieb, kryštálu viazaných magnónov, topologicky netriviálnych fáz Haldaneovho typu, makroskopicky degenerovanému stavu s chirálnymi stupňami voľnosti, skyrmiónového a nematického spinového usporiadania a pod. Teoretický výskum nám umožnil opis pozoruhodných kvantových fázových prechodov riadených magnetickým alebo elektrickým poľom vrátane stanovenia kritických indexov. Taktiež sa nám podarilo objasniť nekonvenčné magnetické správanie viacerých nízkorozmerných magnetických materiálov. Podrobné štúdium kvantového previazania umožnilo vymedziť hranice aplikovateľnosti spinových a elektrónových systémov pre účely kvantového počítania a kvantového spracovania informácie. Všetky stanovené ciele projektu tak boli úspešne splnené. Výsledky riešenia projektu boli doteraz uverejnené v 77 publikáciách karentovaných časopisov, pričom v prevažnej väčšine sa jednalo o renomované časopisy s vysokým impakt faktorom (napríklad 8 publikácií Physical Review B a 17 publikácií Physical Review E). Vysokú kvalitu publikačných výstupov možno doložiť aj zaznamenaním 160 SCI citácií na publikácie projektu, ktoré dokazujú významný ohlas v medzinárodnom kontexte značne presahujúci rámec SR. Do riešenia mnohých čiastkových úloh projektu bolo zapojených viacero výskumníkov z prestížnych zahraničných pracovísk celkovo z 10 rôznych krajín sveta, čo taktiež dokumentuje rozsiahly medzinárodný rozmer a uznanie nášho výskumu.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

Project has contributed to a deeper understanding of exotic quantum states of spin and electron systems including a quantum spin-liquid state, valence-bond crystals, bound magnon crystals, topologically nontrivial Haldane-type phases, macroscopically degenerate state with chiral degrees of freedom, skyrmion and nematic spin orders and so on. A theoretical research has enabled us description of remarkable quantum phase transitions driven by an external magnetic or electric field including determination of critical exponents. We have also succeeded in clarifying unconventional magnetic behavior of several low-dimensional magnetic materials. A detailed study of quantum entanglement has enabled us to delimit applicability of spin and electron systems for the purpose of quantum computation and quantum information processing. All declared project goals were thus successfully accomplished. The project outcomes were until now published in 77 publications of current-contents journals, the most of which belong to the most renowned journals with high impact factors (for instance 8 publications in Physical Review B and 17 publications in Physical Review E). A high erudition of publication outcomes can be evidenced by 160 SCI citations recorded on the project's publications, which prove a significant acceptance in international context considerably exceeding the frame of Slovak Republic. A lot of researchers from prestigious foreign institutes including in total 10 countries from abroad took part by solving several particular project tasks what also corroborates an extensive international recognition and dimension of our research.