



## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **LPP-0202-09**

**Štúdium kvantových procesov v nízkorozmerných magnetických systémoch**

Zodpovedný riešiteľ **doc. RNDr. Alžbeta Orendáčová, DrSc.**

Príjemca **Univerzita P.J. Šafárika v Košiciach**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Univerzita P.J. Šafárika v Košiciach
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

- 1.
- 2.
- 3.

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

- 1.
- 2.
- 3.

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

1. R. Tarasenko, A. Orendáčová, M. Orendáč, M. Kajňaková, A. Feher: Experimental study of magnetic properties of alumina ceramics. Acta Physica Polonica A 118, (2010) 1067.
2. R. Tarasenko, A. Orendáčová, E. Čižmár, M. Orendáč, S. Zvyagin and J. Wosnitza: EPR Study of the Two-Dimensional Quantum System Cu(en)(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Acta Physica Polonica A 121, 1095 (2012).
3. R. Tarasenko, L. Sedláková, A. Orendáčová, M. Orendáč and A. Feher: Experimental Study of the Magnetocaloric Effect in the Two-Dimensional Quantum System Cu(en)(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Journal of Physics: Conference Series 400, 032100 (2012).

4. R. Tarasenko, A. Orendáčová, E. Čižmár, S. Maťaš, M. Orendáč, I. Potočňák, K. Siemensmeyer, S. Zvyagin, J. Wosnitza, A. Feher:  
Cu(tn)Cl<sub>2</sub> – A Spin 1/2 Quasi-Two-Dimensional Antiferromagnet. Programme Abstracts, International Conference for Young Scientists, June 3.-7. 2013 Kharkiv, Ukraine, p. 51.  
Prednáška
5. R. Tarasenko, A. Orendáčová, E. Čižmár, S. Maťaš, M. Orendáč, I. Potočňák, K. Siemensmeyer, S. Zvyagin, J. Wosnitza and A. Feher: Spin Anisotropy in  
Cu(en)(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : A Quasi-Two-Dimensional S = 1/2 Spatially Anisotropic Triangular –  
Lattice Antiferromagnet. Physical Review B 87, 174401 (2013).

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Z metodického hľadiska - vyvinuté kalorimetre sa budú používať na meranie tepelnej kapacity pri subkelvinových teplotách.

Z fyzikálneho hľadiska - dosiahnuté výsledky sa radia do základného výskumu bez priameho aplikačného potenciálu avšak získané fyzikálno-materiálové charakteristiky poslúžia ako potrebný odrazový mostík pre možné aplikácie, napr. magnetické refrigeranty pri héliových teplotách a materiály pre spin-kaloritronické zariadenia.

## **CHARAKTERISTIKA VÝSLEDKOV**

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

Z metodického hľadiska bol realizovaný vývoj kalorimetrov pre subkelvinové teploty s dobrou citlivosťou na báze odporových pást Dupont. Taktiež boli študované materiálové vlastnosti priemyselnej keramiky ako lacného a dostupného materiálu na prípravu držiakov pre kalorimetre a meranie kalorimetrického javu. Naše štúdium ukázalo, že na tieto účely je vhodnejšia spektroskopicky čistá keramika.

Bola úspešne realizovaná syntéza vybraných nízkorozmerných magnetík na báze iónu Cu(II), z toho u troch zlúčenín doktorand vypestoval kvalitné monokryštály, čo umožnilo získanie kvalitných experimentálnych údajov.

Meraním tepelnej kapacity monokryštalických vzoriek Cu(en)(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a Cu(tn)Cl<sub>2</sub> v nenulovom magnetickom poli boli získané magnetické fázové diagramy, ktoré jasne indikujú prítomnosť poľom indukovaného Berezinskii-Kosterlitz-Thoulessovho fázového prechodu teoreticky predpovedaného pre dvojrozmerné magnetiká.

Štúdium pružného neutrónového rozptylu polykryštalických vzoriek Cu(tn)Cl<sub>2</sub> (1) a Cu(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>(C<sub>2</sub>H<sub>8</sub>N<sub>2</sub>)SO<sub>4</sub> (2) indikovalo anomálne veľké zmeny mriežkových parametrov, ktoré boli pripísané prítomnosti vodíkových väzieb. Obdobný experiment na monokryštáli vzorky (2) indikoval antiferomagnetické usporiadanie pozdĺž osi a, čo je v súlade s analýzou spektier elektrónovej paramagnetickej rezonancie (EPR). Analýza uhlovej a teplotnej závislosti EPR spektier Cu(en)(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Cu(tn)Cl<sub>2</sub> a Cu(en)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> indikovala prítomnosť symetrickej a antisymetrickej výmennej interakcie, ktorá je zodpovedná za zložitejšiu štruktúru magnetických fázových diagramov Cu(tn)Cl<sub>2</sub>.

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

We developed a series of calorimeters for subkelvin temperatures with a good sensitivity, based on the resistive pastes produced by Dupont. Also we studied material properties of electrotechnic ceramics as a cheap and available material for the construction of sample holders for calorimeters and measurement of magnetocaloric effect. Our study revealed that for these purposes, spectroscopically pure ceramics is required.

We performed successfully a synthesis of selected low-dimensional magnets based on the Cu(II) ion. In three cases, a PhD student succeeded in the growing of large single crystals of good quality, which enabled to obtain experimental data of high quality.

We studied specific heat of single crystals of  $\text{Cu(en)(H}_2\text{O)}_2\text{SO}_4$  and  $\text{Cu(tn)Cl}_2$  in non-zero magnetic field and constructed magnetic phase diagrams, which clearly indicate the presence of a field-induced Berezinskii-Kosterlitz-Thouless phase transition theoretically predicted for two-dimensional magnets. The study of elastic neutron scattering of powdered samples of  $\text{Cu(tn)Cl}_2$  (1) and  $\text{Cu(H}_2\text{O)}_2\text{(C}_2\text{H}_8\text{N}_2\text{)SO}_4$  (2) indicated anomalous large changes of lattice parameters, which were ascribed to the presence of hydrogen bonds. The same experiment performed on the single crystal of the sample (2) indicated antiferromagnetic ordering along the a axis, which is in agreement with the conclusions of the analysis of the electron paramagnetic resonance (EPR) spectra. Analysis of the angular and temperature dependence of EPR spectra of  $\text{Cu(en)(H}_2\text{O)}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Cu(tn)Cl}_2$  and  $\text{Cu(en)}_2\text{SO}_4$  indicated the presence of symmetric and antisymmetric exchange interaction, which is responsible for a more complex structure of the magnetic phase diagrams of  $\text{Cu(tn)Cl}_2$ .

Svojím podpisom potvrdzujem, že údaje uvedené v záverečnej karte sú pravdivé a úplné a súhlasím s ich zverejnením.

**Zodpovedný riešiteľ**

doc. RNDr. Alžbeta Orendáčová, DrSc.

V Košiciach 18. 09. 2013

**Štatutárny zástupca príjemcu**

prof. MUDr. Ladislav Mirossay, DrSc.

V Košiciach 18. 09. 2013

.....  
podpis zodpovedného riešiteľa

.....  
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu