

doc. Mgr. Jaroslav Kohout, Dr.
Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-Fyzikální fakulta
V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8 – Trója
kohout@mbox.troja.mff.cuni.cz

Oponentský posudek habilitační práce Mgr. Petra Jandačky, Ph.D.:

„Fyzikální vlastnosti a funkce magnetických mikrostruktur objevených v bio-systémech“

Výzkum magnetických nanočástic a jejich struktur v živých organismech patří do rychle se rozvíjejícího oboru. Hlavním předmětem této habilitační práce je fyzikální popis magnetických struktur vyskytujících se v živých organismech, zejména takových, které by mohly těmto organismům sloužit k orientaci v prostoru pomocí magnetického pole Země.

Předkládaná habilitační práce je tvořena podrobným komentářem doplněným dosud nepublikovanými výsledky v rozsahu 68 stran včetně seznamu použité literatury a souborem 7 autorových prací z let 2012 – 2015, v nichž ve 4 je uveden jako první autor. Soubor prací je složen ze šesti článků publikovaných v zahraničních časopisech a jednoho v konferenčním sborníku. Soubor příložených prací prošel řádným recenzním řízením, proto nepovažuji za nutné posuzovat jednotlivé práce.

Magnetorecepce (schopnost živých organismů detekovat magnetické pole), je jako mezioborová problematika popsána v úvodní kapitole. Současný stav této problematiky u vyšších organismů, zejména holubů, u nichž se předpokládá aktivní magnetorecepce (senzor magnetického pole Země napojen přímo na nervovou soustavu), je přehledně shrnut ve druhé kapitole. Autor se v této kapitole zaměřuje zejména na senzory magnetického pole založené na principu interakce magnetických nanočástic (mikročástic) a jejich struktur s magnetickým polem Země. Základní vlastnosti magnetického pole Země, včetně jeho časových fluktuací, jsou zmíněny na závěr této kapitoly.

Základní magnetické vlastnosti nanočástic (mikročástic) minerálů, zejména oxidů a oxo-hydroxidů železa nejčastěji se vyskytujících v živých organismech, jsou popsány na začátku kapitoly třetí. V této kapitole je dále popsán princip a parametry vibračního magnetometru VSM EV9 Microsense používaného v rámci této habilitační práce k měření magnetických vlastností vzorků a princip a konstrukce funkčních vzorků magnetických separátorů.

Vlastní výsledky habilitační práce jsou diskutovány ve čtvrté kapitole:

- a) Pozorovaná distribuce velikostí nanočástic krystalizujících v magnetotaktických baktériích silně závisí na druhu bakterií. Krystalizační mechanismus v těchto baktériích je podle tvaru distribuce a vývoje krystalizace konfrontován s Ostwaldovým zráním, při němž v uzavřeném systému rostou větší precipitáty na úkor malých, které se rozpouštějí.
- b) Na základě kombinace rentgenové difrakce a magnetických měření byl v biosorbentech vyvíjených pro magnetickou separaci, které byly připraveny pomocí síran-redukujících bakterií, identifikován podíl magnetického greigitu a mackinawitu v závislosti na modifikaci kultivačního prostředí.
- c) Magnetické částice obsahující železo byly detekovány v různých částech těl čmeláků, zejména na hlavách a křídlech, pomocí magnetických měření a skenovací elektronové mikroskopie s EDX analýzou.

- d) Proces opakované separace magnetických nanočástic a mikročástic na zkonstruovaných magnetických separátorech je asymptotický.
- e) Modelované mezi-klastrové magnetické silové působení dvou izolovaných klastrů superparamagnetických nanočástic ve viskózním prostředí při pohybu v zemském magnetickém poli, je velmi malé. Pro typickou velikost, vzdálenost a složení odpovídající klastrům nacházejících se v horním zobáku holubů toto velmi slabé silové působení vede pouze k pomalému pohybu klastrů. Tento pomalý pohyb pravděpodobně nemůže poskytovat živému organismu informaci o směru a velikosti magnetického pole Země.
- f) Pro klastry magnetických nanočástic obalených a neobalených membránou, objevených ve vnitřním uchu ptáků bylo modelováno deformační chování vlivem změny magnetického pole Země s výsledkem zanedbatelné deformace, která vylučuje magnetorecepci. Byla tedy zformulována hypotéza, že by tyto klastry (tělíška) mohly fungovat jako buněčné oscilátory, které by indukovali elektrické napětí přímo v receptorové buňce.
- g) Pomocí Henkelových grafů byly studovány mezičásticové interakce ferimagnetických jednodoménových částic magnetitu a maghemitu v závislosti na jejich vzdálenosti, která byla regulována ředěním vzorku práškovým MgO. Maximum v Henkelově grafu bylo pozorováno pro 30% hmotnostní koncentraci magnetitu.

Na závěr autor shrnuje hlavní výsledky habilitační práce a nastiňuje perspektivy výzkumu v oblasti výzkumu magnetorecepce.

Habilitační práce je zpracována srozumitelně a přehledně na dobré vědecké úrovni, prakticky bez překlepů. Jazyková úroveň práce je velmi dobrá. V oblasti grafického zpracování bych uvítal sjednocení typu a velikosti fontů písma použitých v grafech.

Jako námět do diskuze při obhajobě habilitační práce bych měl následující otázky:

1. V kapitole 4.3.1. str. 40 (příloha 1) ukazujete, že mezi-klastrové magnetické silové působení dvou izolovaných klastrů superparamagnetických nanočástic ve viskózním prostředí (obrázek 29, str. 40) při pohybu v zemském magnetickém poli, je velmi malé pro typickou velikost, vzdálenost a složení odpovídající klastrům nacházejících se v horním zobáku holubů. Z toho usuzujete na pravděpodobnou nefunkčnost této magnetické struktury jako magnetického senzoru. Na obrázku 2. Str. 9 jsou mikroskopické snímky a model magnetické struktury nacházející se v jedné buňce v horním zobáku holubů. Kromě klastrů o velikosti $\sim 1\mu\text{m}$ v typické vzájemné vzdálenosti $\sim 1.5\mu\text{m}$ se „mezi“ těmito klastry nacházejí řetízky maghemitových destiček ($1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m} \times 0.1\mu\text{m}$) s typickou vzájemnou vzdáleností $\sim 0.1\mu\text{m}$ a vzdáleností od klastru $\sim 0.2\mu\text{m}$. Jelikož silové působení mezi dvěma magnetickými dipóly je nepřímo úměrné čtvrté mocnině vzájemné vzdálenosti, bude silové mezi maghemitovými destičkami a klastrem mnohem silnější, než mezi dvěma izolovanými klastry. Jak může přítomnost řetízků magnetických destiček mezi klastry, případně jejich torze, ovlivnit silové působení mezi klastry?
2. Na straně 34 píšete, že by se „granule“ pozorované na tělech čmeláků, na základě výsledků z rentgenové difrakce a Mössbauerovy spektroskopie, mohly skládat z magnetitových a wüstitových částic. Izomerní posuvy určené z Mössbauerova spektra křídel čmeláka to naopak naprosto vylučují (viz tabulka 1, příloha 6). Typické hodnoty izomerních posuvů magnetitu při pokojové teplotě jsou 0.67 mm/s pro Fe^{2+} a Fe^{3+} v

oktaedrických B-polohách a 0.29 mm/s pro Fe^{3+} v tetraedrických A-polohách a u wüstitu se typická hodnota izomeního posuvu pohybuje okolo ~ 0.9 mm/s. Vzhledem k tomu, že pozorovaných částic na křídlech čmeláků (viz obrázek 6, příloha 6) vyskytuje poměrně málo, domnívám se, že je jejich množství pod detekční citlivostí Mösbauerovy spektroskopie. Pozorovaný asymetrický dublet je typický pro železo v hliníkové fólii a může pocházet například ze scintilačního detektoru spektroskopické trasy. Nejsou tedy pozorované „granule“ na skenovacím elektronovém mikroskopu, vzhledem k jejich různorodému chemickému složení, spíše prachové částice pocházející z přirozeného prostředí čmeláků, nebo nějaká jiná kontaminace?

Na závěr mohu konstatovat, že autor prokázal velký přehled v daném oboru. Zvolené téma habilitační práce je aktuální a plně zapadá do oboru Aplikovaná fyzika. Předložená habilitační práce splňuje všechna kritéria kladená na habilitační práce. Vědecké radě Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci proto doporučuji přijmout předloženou habilitační práci k obhajobě a následně po obhájení udělit panu Mgr. Petru Jandačkovi, Ph.D. titul docent v oboru Aplikovaná fyzika.

V Praze 8. 9. 2016

doc. Mgr. Jaroslav Kohout, Dr.