



Prehl'ad činnosti OTF za roky 2007 - 2011

Ján Nemčík

Celoústavný seminár
ÚEF SAV, Košice, 7. november 2011

Personálne zloženie

● vedeckí pracovníci:

Hana Čenčariková, Pavol Farkašovský, Michal Hnatič, Marián Jurčišin, Eva Jurčišinová, Peter Kopčanský, Martin Kupka, Ján Nemčík, Richard Pinčák, Milan Stehlík

Personálne zloženie

● vedeckí pracovníci:

Hana Čenčariková, Pavol Farkašovský, Michal Hnatič, Marián Jurčišin, Eva Jurčišinová, Peter Kopčanský, Martin Kupka, Ján Nemčík, Richard Pinčák, Milan Stehlík

● doktorandi:

Richard Remecký [Sept. 2011] (Jurčišin)

Peter Zalom (Jurčišin)

Michal Dančo (Hnatič)

Tomáš Lučiviansky [PF UPJŠ] (Hnatič)

Lukáš Mižišin [PF UPJŠ] (Hnatič)

Štefánia Mát'ošová [ext] (Farkašovský)

Jan Čepila [FJFI ČVUT] (Nemčík)

Výskumné skupiny

- Silne korelované elektrónové systémy (SCES)

Hana Čenčariková, Pavol Farkašovský

Výskumné skupiny

- Silne korelované elektrónové systémy (SCES)

Hana Čenčariková, Pavol Farkašovský

- Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP

Michal Hnatič, Marián Jurčišin, Eva Jurčišinová, Milan Stehlík

Výskumné skupiny

- Silne korelované elektrónové systémy (SCES)

Hana Čenčariková, Pavol Farkašovský

- Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP

Michal Hnatič, Marián Jurčišin, Eva Jurčišinová, Milan Stehlík

- Teória štrukturalizačných javov v systémoch nanočastíc

Peter Kopčanský

Výskumné skupiny

- Silne korelované elektrónové systémy (SCES)

Hana Čenčariková, Pavol Farkašovský

- Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP

Michal Hnatič, Marián Jurčišin, Eva Jurčišinová, Milan Stehlík

- Teória štrukturalizačných javov v systémoch nanočastíc

Peter Kopčanský

- Supratekutost' a supravodivosť, fyzika nehomogénnych tuhých látok

Martin Kupka

Výskumné skupiny

- Efekty v procesoch na jadrových terčíkoch

Ján Nemčík

Výskumné skupiny

- Efekty v procesoch na jadrových terčíkoch

Ján Nemčík

- Fulerény, nanotrúbky, grafény

Elektrónové prenosy vo fotosyntetických reakčných centrách

Richard Pinčák

Výskumné skupiny

- Efekty v procesoch na jadrových terčíkoch

Ján Nemčík

- Fulerény, nanotrúbky, grafény

Elektrónové prenosy vo fotosyntetických reakčných centrách

Richard Pinčák

- Vysokoenergetické častice vo vesmíre

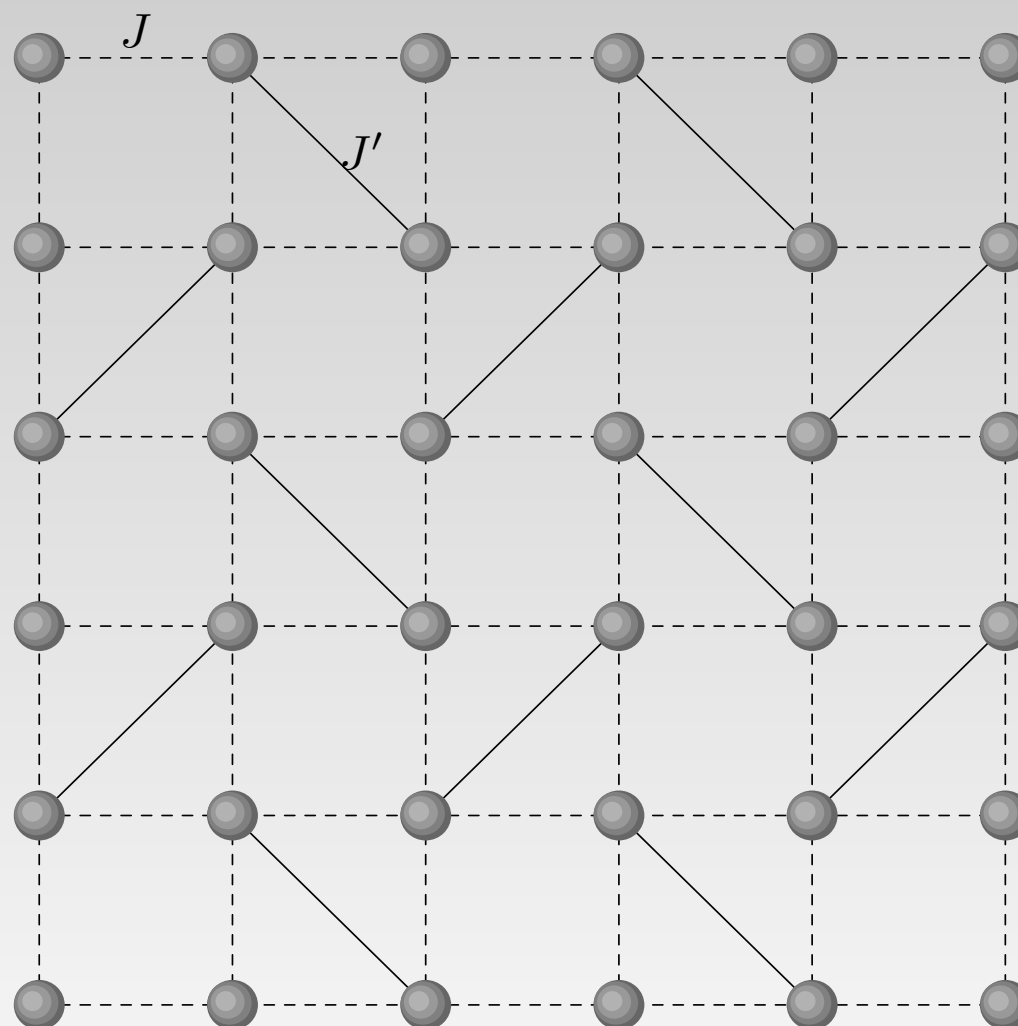
Milan Stehlík

SCES

Bol navrhnutý nový mikroskopický model pre popis magnetizačných procesov v tetraboridoch vzácnych zemín. Model je založený na koexistencii dvoch interagujúcich podsystemov - **spinového podsystemu** popísaného Isingovým hamiltoniánom a **elektrónového podsystemu**, popísaného modelom Falicova-Kimballa na Shastryho-Sutherlandovej mriežke (SSM). Navrhnutý model vedie k stabilizácii nových magnetizačných zdrží. Popri Isingovej magnetizačnej zdrži pri $m^{sp}/m_s^{sp} = 1/3$ boli nájdené **tri nové relevantné magnetizačné zdrže** pri $m^{sp}/m_s^{sp} = 1/2$, $1/5$ a $1/7$ saturovanej magnetizácie m_s^{sp} , čo je vo veľmi dobrej kvalitatívnej zhode s experimentálnymi meraniami pre danú triedu materiálov.

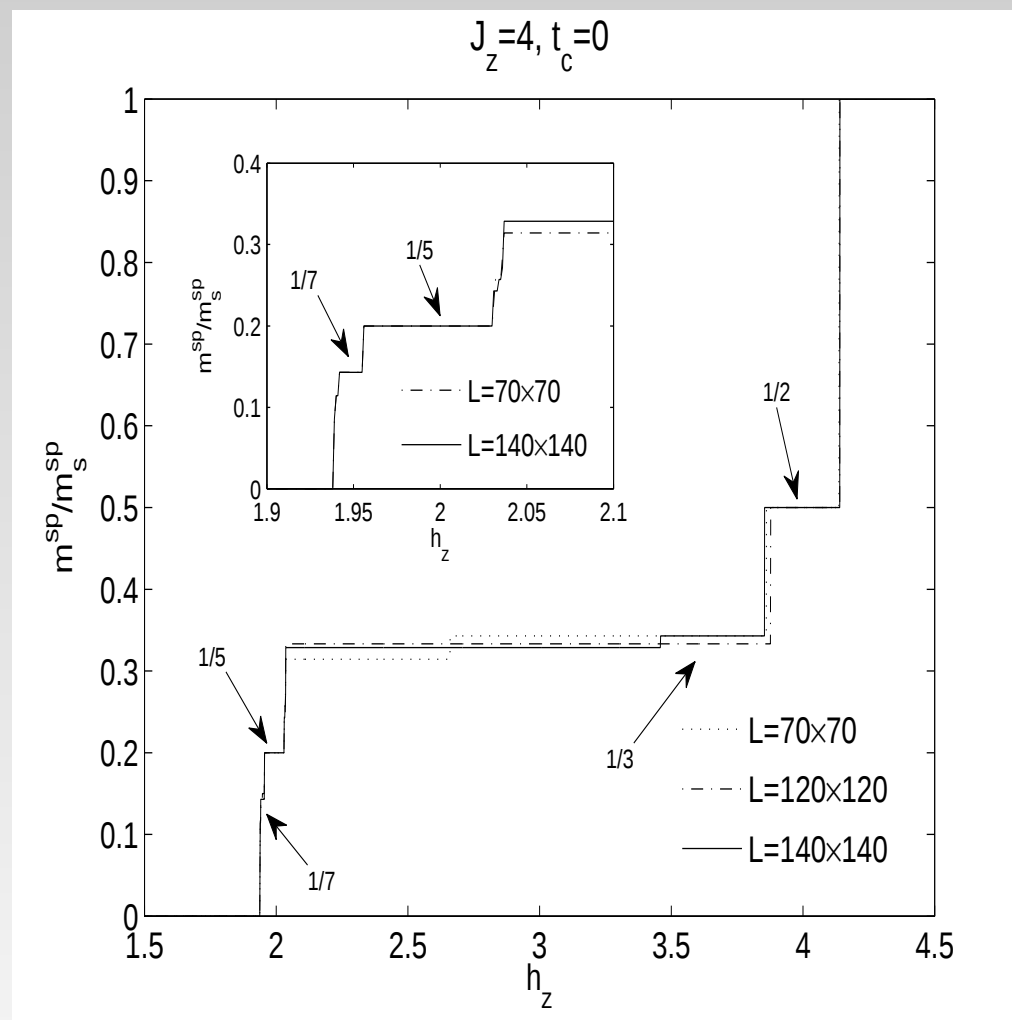
P. Farkasovsky, H. Cencarikova, S. Matas; Phys. Rev. B82, 054409 (2010)

SCES



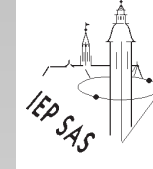
Shastryho-Sutherlandova mriežka

SCES



Stabilizácia nových magnetizačných zdrží

Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP



Eur. Phys. J. B **73**, 275–285 (2010)
DOI: 10.1140/epjb/e2009-00432-8

THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL B

Regular Article

Improved ε expansion in the theory of turbulence: summation of nearest singularities by inclusion of an infrared irrelevant operator

L.T. Adzhemyan¹, M. Hnatich^{2,3}, and J. Honkonen^{4,a}

¹ Department of Theoretical Physics, St. Petersburg University, Ulyanovskaya 1, St. Petersburg, Petrodvorets, 198504 Russia

² Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, Watsonova 47, 040 01 Košice, Slovakia

³ Faculty of Sciences, P.J. Šafarik University, Moyzesova 16, 040 01 Košice, Slovakia

⁴ Department of Military Technology, National Defence University, P.O. Box 7, 00861, Helsinki, Finland

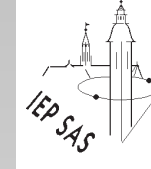
Received 23 September 2009 / Received in final form 9 November 2009

Published online 17 December 2009 – © EDP Sciences, Società Italiana di Fisica, Springer-Verlag 2009

Abstract. A method is put forward to improve the ε expansion in the theory of developed d -dimensional turbulence on the basis of the renormalization of random forcing in the stochastic Navier-Stokes equation. This renormalization takes into account additional divergences, which appear as $d \rightarrow 2$. In the n th order of the perturbation theory with the extended renormalization the first n terms of the usual ε expansion are correctly reproduced as well as the first n terms of the Laurent expansion in the parameter $d - 2$ of the terms of the rest of the usual ε expansion. The Kolmogorov constant and skewness factor calculated in the one-loop approximation of the improved perturbation theory are in reasonable agreement with their recommended experimental values.

Výpočet (skewness) faktora skreslenia a Kolmogorovej konštanty, jedného z najdôležitejších reprezentatívnych parametrov rozvinutej turbulencie, určujúcej amplitúdu spektra kinetickej energie vírov.

Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP



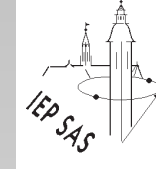
Získali sme hodnoty Kolmogorovej konštanty $C_K \approx 1.889$ and (skewness) factora skreslenia (miera vplyvu asymetrie v systéme) $\mathcal{S} \approx -0.308$.

Pričom $C_K \approx 2.01$ a $\mathcal{S} \approx -0.28$ sú považované za najdôveryhodnejšie experimentálne hodnoty.

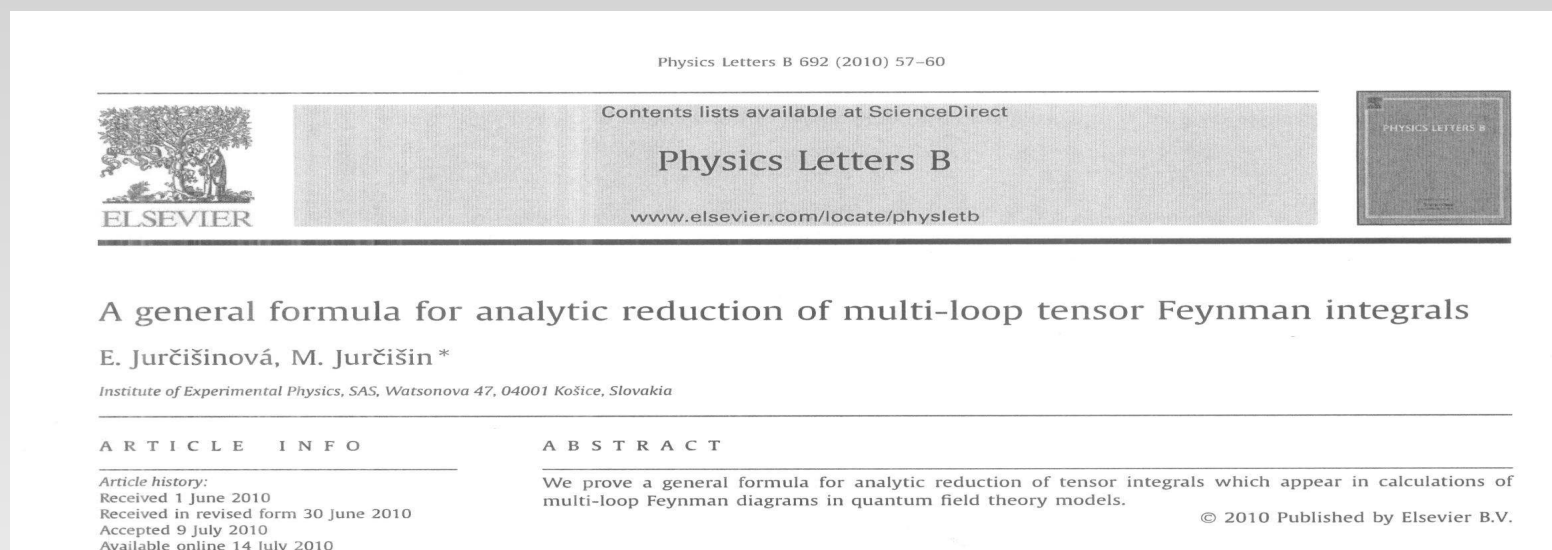
Preto navrhovaný postup pre výpočet pomocou zdokonalenia ϵ rozvoja dáva rozumnú zhodu s experimentom.

Je potrebné pripomenúť, že štandardný ϵ rozvoj v jednoslučkovom priblížení dáva hodnotu $C_K \approx 1.47$ a $\mathcal{S} \approx -0.45$.

Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP

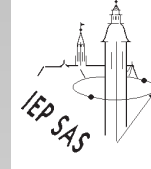


Bola dokázana platnosť všeobecnej formuly na redukciu tenzorových Feynmanových integrálov



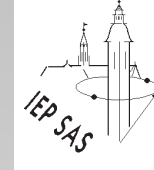
Theorem: *Let $\mathcal{V}$ be the d -dimensional Euclidean vector space over the field of real numbers $\mathbb{R}$. Let $l, n \in \mathbb{N}$ (natural numbers), and $\mathbf{k}^{(i)}$, for $i = 1, 2, \dots, l$ are vectors in $\mathcal{V}$. Then for an arbitrary $l \times l$ symmetric real matrix with $\det v \neq 0$, arbitrary vectors $\mathbf{a}^{(i)} \in \mathcal{V}$ ($i = 1, 2, \dots, l$), and $c, \alpha \in \mathbb{R}$ the following general formula holds*

Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP



$$\begin{aligned}
 & \int \dots \int \frac{d\mathbf{k}^{(1)} \dots d\mathbf{k}^{(l)} k_{i_1}^{(q_1)} k_{i_2}^{(q_2)} \dots k_{i_n}^{(q_n)}}{[v_{is} \mathbf{k}^{(i)} \cdot \mathbf{k}^{(s)} + 2\mathbf{a}^{(i)} \cdot \mathbf{k}^{(i)} + c]^\alpha} \\
 &= \frac{(-1)^n \pi^{\frac{dl}{2}} (\det v)^{-\frac{d}{2}}}{\Gamma(\alpha)} \sum_{p=0}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} \frac{\Gamma(\alpha - \frac{dl}{2} - \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + p) [c - (v^{-1})_{is} \mathbf{a}^{(i)} \cdot \mathbf{a}^{(s)}]^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor + \frac{dl}{2} - \alpha - p}}{(\lfloor \frac{n}{2} \rfloor - p)! (2p + n(\bmod 2))! 4^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor - p}} \\
 &\times \sum_{P(r_1, r_2, \dots, r_n)} (v^{-1})_{q_1 s_1} a_{i_1}^{(s_1)} (v^{-1})_{q_2 s_2} a_{i_2}^{(s_2)} \dots (v^{-1})_{q_{2p+n(\bmod 2)} s_{2p+n(\bmod 2)}} a_{i_{2p+n(\bmod 2)}}^{(s_{2p+n(\bmod 2)})} \\
 &\times \delta_{i_{2p+n(\bmod 2)+1} i_{2p+n(\bmod 2)+2}} (v^{-1})_{q_{2p+n(\bmod 2)+1} q_{2p+n(\bmod 2)+2}} \dots \delta_{i_{n-1} i_n} (v^{-1})_{q_{n-1} q_n},
 \end{aligned}$$

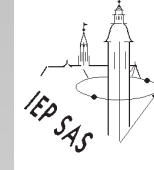
Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP



where summation is taken over all simultaneous permutations of couples of indices $r_j = \{q_j, i_j\}$, $j = 1, \dots, n$, $k_j^{(s)}$ and $a_j^{(s)}$ are j -th components of the vectors $\mathbf{k}^{(s)}$ and $\mathbf{a}^{(s)}$, respectively, δ_{ij} denotes Kronecker delta, v^{-1} is the inverse matrix of matrix v , $\lfloor n/2 \rfloor = n/2$ for an even n , and $\lfloor n/2 \rfloor = (n - 1)/2$ for an odd n , and over all dummy indices the corresponding summation is assumed.

E. Juncisinova, M. Juncisin; Phys. Lett. B692, 57 (2010).

Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP



Bolo ukázané, že dvojslučkové priblíženie dáva iba 2% korekciu pre turbulentné Prandtlovo číslo vzhl'adom k jednoslučkovému výpočtu - bola ukázaná stabilita hodnoty Prandtlovho čísla vzhl'adom ku korekciám vyššieho rádu.

Nájdená hodnota Prandtlovho čísla je:

$$(1) Pr_t = Pr_t^{(1)} + Pr_t^{(2)} = 0.7179 - 0.0128(corr.) = 0.7051.$$

Experimentálny interval je (0.7-0.9).

E. Jurcisinova, M. Jurcisin, R. Remecky; PR E82, 028301 (2010)

PHYSICAL REVIEW E **82**, 028301 (2010)

Comment on “Two-loop calculation of the turbulent Prandtl number”

E. Jurčišinová, M. Jurčišin, and R. Remecký

Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, Watsonova 47, 040 01 Košice, Slovakia

(Received 4 May 2010; published 9 August 2010)

We have revised the value of the turbulent Prandtl number obtained in the model of a passive scalar advected by the velocity field driven by the stochastic Navier-Stokes equation which was calculated by L. Ts. Adzhemyan *et al.* [Phys. Rev. E **71**, 056311 (2005)] by using the field-theoretic renormalization group approach within the two-loop approximation in the corresponding perturbative theory. It is shown that the correct two-loop contribution to the turbulent Prandtl number is essentially smaller than that calculated by Adzhemyan *et al.* and, as a result, the final two-loop value of the turbulent Prandtl number is $Pr_t=0.7051$ instead of $Pr_t=0.7693$. The source of discrepancy between our result and that obtained by Adzhemyan *et al.* is identified and discussed.

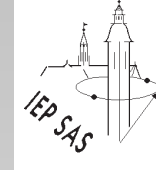
Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP



Bolo spočítané v druhom ráde poruchového počtu turbulentné magnetické Prandtlovo číslo v rámci kinematickej MHD turbulencie, teda keď magnetické pole je dostatočne slabé a môže byť považované iba za pasívnu vektorovú prímes v turbulentnom vodivom prostredí. Bolo ukázané, že v takomto prípade je turbulentné magnetické Prandtlovo číslo rovné turbulentnému Prandtlovmu číslu v predchádzajúcom prípade pasívnej skalárnej prímesi (napríklad teplotne pole). Vnútoraná štruktúra pasívne advektovaného pol'a nemá vplyv na difúzne procesy v turbulentných prostrediach, minimálne v prípade izotropného turbulentného prostredia, v ktorom sme to študovali.

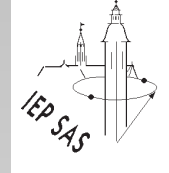
E. Juncisinova, M. Juncisin, R. Remecky; Phys. Rev. E84, 046311 (2011)

Teória štrukturalizačných javov v systémoch nanočastíc



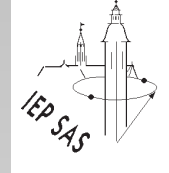
- Teoretický popis indukovania prechodu z izotropnej do nematickej fázy pomocou vonkajšieho magnetického pol'a a dopovania kvapalných kryštálov pomocou magnetických nanočastíc

Teória štrukturalizačných javov v systémoch nanočastíc



- Teoretický popis indukovania prechodu z izotropnej do nematickej fázy pomocou vonkajšieho magnetického pol'a a dopovania kvapalných kryštálov pomocou magnetických nanočastíc
- Peter Kopcansky, Natalia Tomasovicova, Martina Koneracka, Vlasta Zavisova Milan Timko, Michal Hnatic, Nandor Eber, Tibor Toth-Katona, Jan Jadzyn, Juha Honkonen, Eric Beaugnon, and Xavier Chaud

Teória štrukturalizačných javov v systémoch nanočastíc



- Teoretický popis indukovania prechodu z izotropnej do nematickej fázy pomocou vonkajšieho magnetického pol'a a dopovania kvapalných kryštálov pomocou magnetických nanočastíc
- Peter Kopcansky, Natalia Tomasovicova, Martina Koneracka, Vlasta Zavisova Milan Timko, Michal Hnatic, Nandor Eber, Tibor Toth-Katona, Jan Jadzyn, Juha Honkonen, Eric Beaugnon, and Xavier Chaud
- Magnetic-Field Induced Isotropic to Nematic Phase Transition in Ferronematics,
IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol.47, No. 10, 4409 (2011)

Supratekutost' a supravodivost', fyzika nehomogénnych tuhých látok



Martin Kupka

VLASTNOSTI SUPRATEKUTÉHO HÉLIA 3 VLASTNOSTI NEHOMOGENNÝCH MATERIÁLOV

Hlavné výsledky z rokov 2007 až 2011 možno v najúspornejšej forme vyjadriť tromi disperznými reláciami:

- Disperzná relácia torznej vlny šíriacej sa objemom HPD v $^3\text{He-B}$ v podmienkach kontinuálnej NMR

$$\omega^2 = \frac{3\Omega_B^2}{8\Omega_B^2 + 3\omega_{\text{Rp}}^2} \left[\frac{2}{3} (5c_T^2 - c_L^2) k_L^2 + \frac{1}{3} (5c_L^2 + 3c_T^2) k_T^2 + \frac{4}{\sqrt{15}} \omega_{\text{Rp}} g B_{\text{Rp}} \right]$$

- Disperzná relácia vlny šíriacej sa po HPD-SD rozhraní v $^3\text{He-B}$ v podmienkach kontinuálnej NMR

$$\omega^2 = \frac{3}{4} \frac{g \nabla B}{\omega_{\text{Rp}}} \sqrt{\frac{2}{3} (5c_T^2 - c_L^2)} \sqrt{\frac{1}{3} (5c_L^2 + 3c_T^2) k_T^2 + \frac{4}{\sqrt{15}} \omega_{\text{Rp}} g B_{\text{Rp}}}$$

- Disperzná relácia ohybovej vlny šíriacej sa tenkou nehomogénnou tyčou

$$\omega^2 = \frac{k_z^4}{\rho A} \iint \left[E(x, y) \left(y - \frac{\iint E(x', y') y' dx' dy'}{\iint E(x', y') dx' dy'} \right)^2 \right] dx dy$$

Významnejšie publikácie:

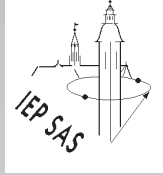
- Človečko M. et al., *Physical Review Letters* **100** (2008) 155301
- Kupková M. et al., *Scripta Materialia* **57** (2007) 639

Efekty v procesoch na jadrových terčíkoch



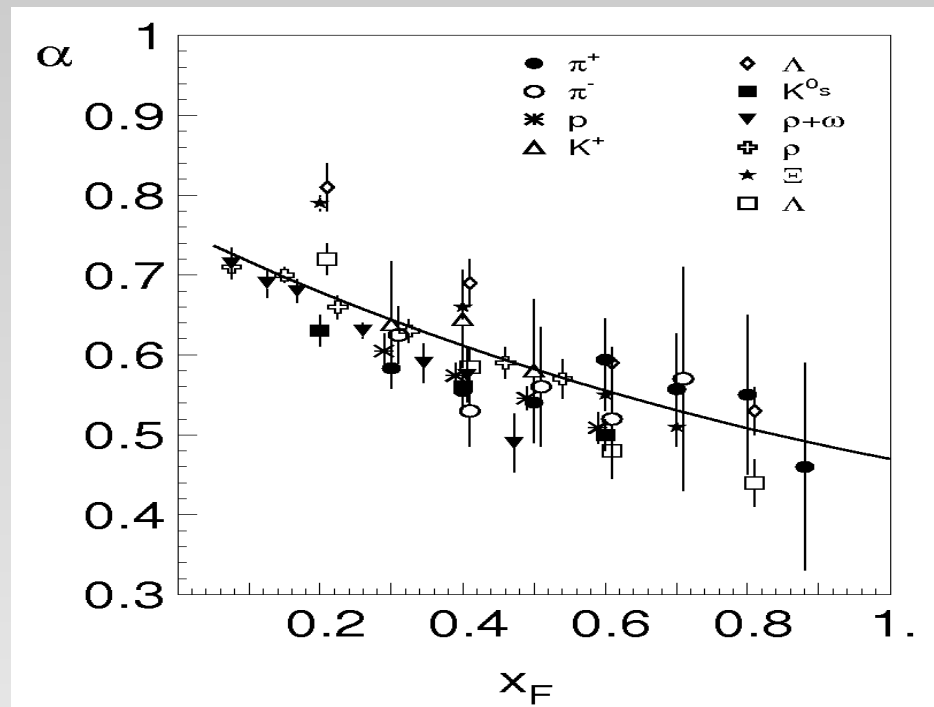
- Bola analyzovaná spoločná črta všetkých známych reakcií na jadrových terčíkoch - silné jadrové potlačenie relatívneho produkčného výt'ážku na jadre k nukleónovému terčíku, $R_{A/N} < 1$, pri veľkých hodnotách premennej Feynmana $x \rightarrow 1$, priečneho impulzu p_T produkovaných častíc a dopredných rapiditách.

Efekty v procesoch na jadrových terčíkoch



- Bola analyzovaná spoločná črta všetkých známych reakcií na jadrových terčíkoch - silné jadrové potlačenie relatívneho produkčného výt'ážku na jadre k nukleónovému terčíku, $R_{A/N} < 1$, pri veľkých hodnotách premennej Feynmana $x \rightarrow 1$, priečného impulzu p_T produkovaných častíc a dopredných rapiditách.
- Interpretácia tohoto efektu je založená na disipácii energie pri mnohonásobných rozptyloch partónov v jadrovej materii. Jadrá rozlíšia viac Fockovských stavov, medzi ktoré sa potom prerozdeli celková energia danej reakcie. To potom vedie k efektívnym energetickým stratám partóna, ktorý hadronizuje vo výsledné pozorované častice. Potlačenie produkcie na jadrových terčíkoch je spôsobené práve menšou vydelenou energiou pre fragmentujúci partón oproti nukleónovým terčíkom.

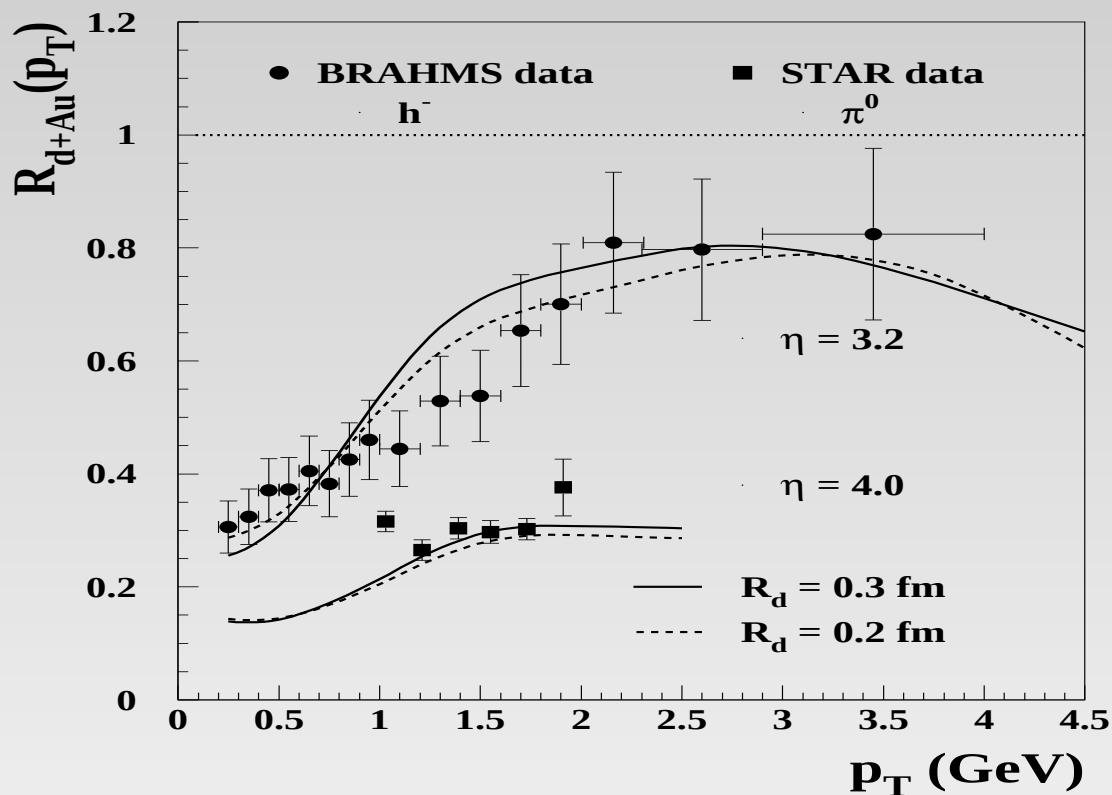
Vedúce hadróny s malými p_T



Exponenta popisujúca ($\propto A^\alpha$) závislosť produkcie rôznych hadrónov na jadre k protónu ako funkcia x_F

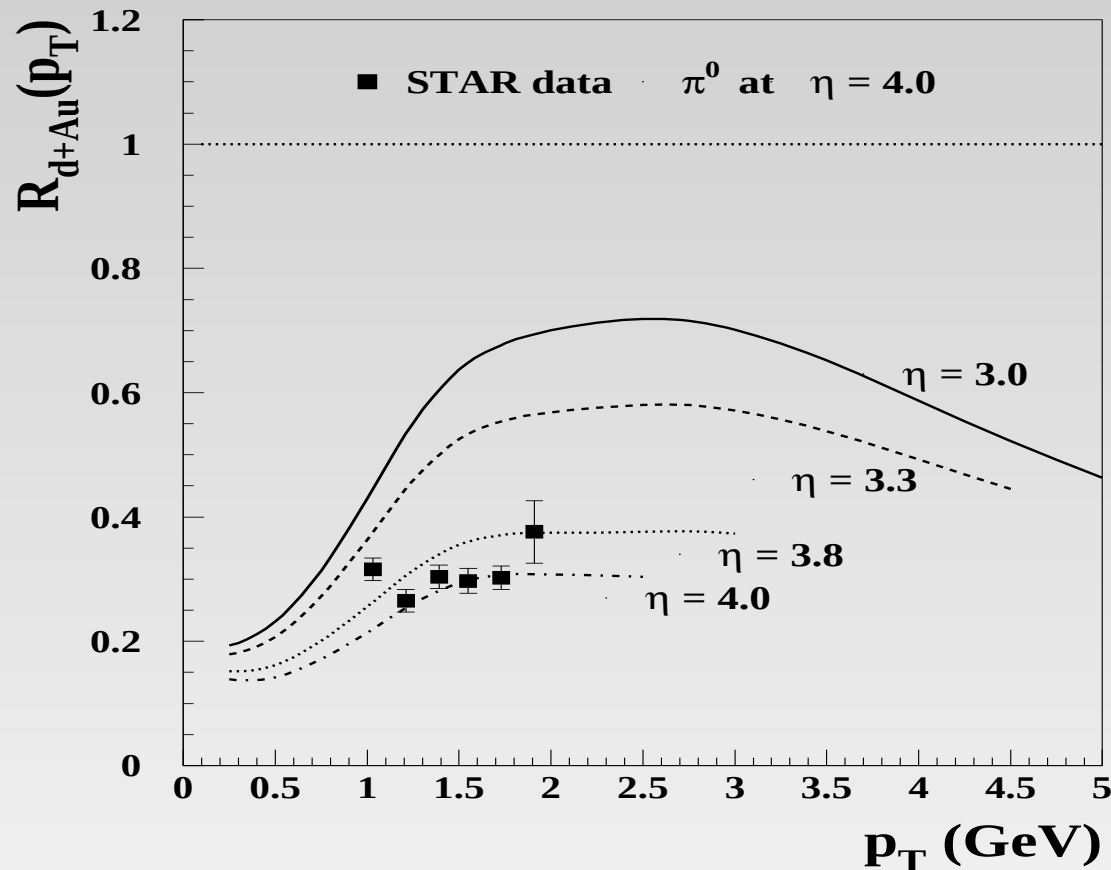
- silné a univerzálne jadrové potlačenie pri veľkých x_F
- data pokrývajú energetický interval od 70 do 400 GeV a ukazujú x_F škálovanie jadrových efektov

Hadróny s veľkými p_T pri dopredných η



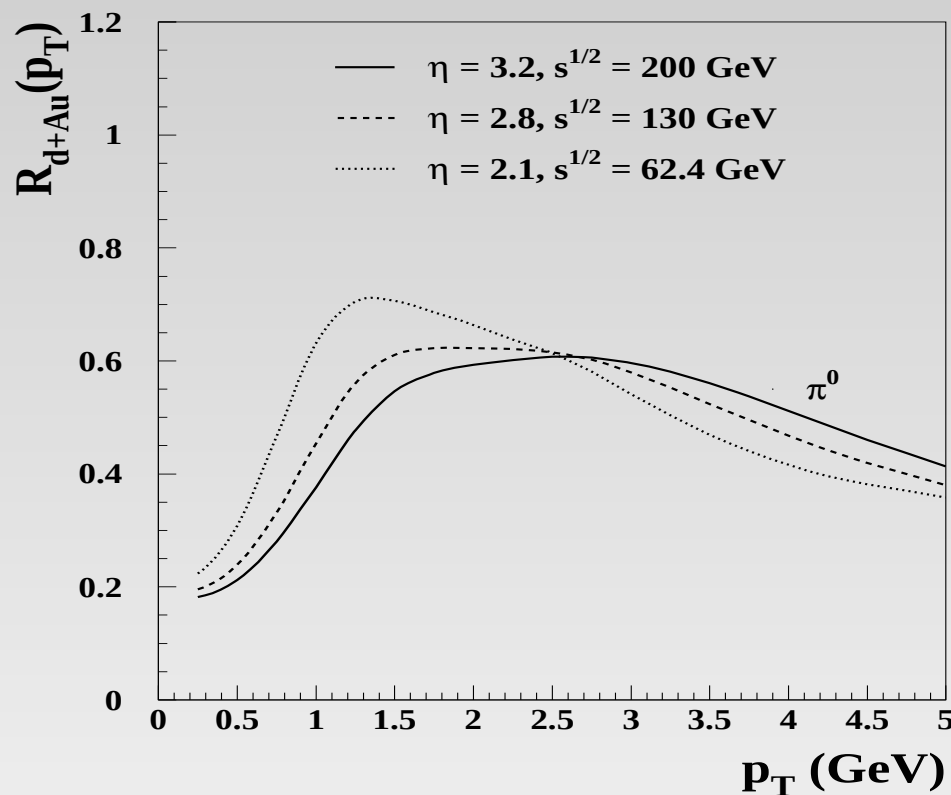
Jadrový modifikačný faktor pre produkciu hadrónov v $d + Au$ zrážkach

Hadróny s veľkými p_T pri dopredných η



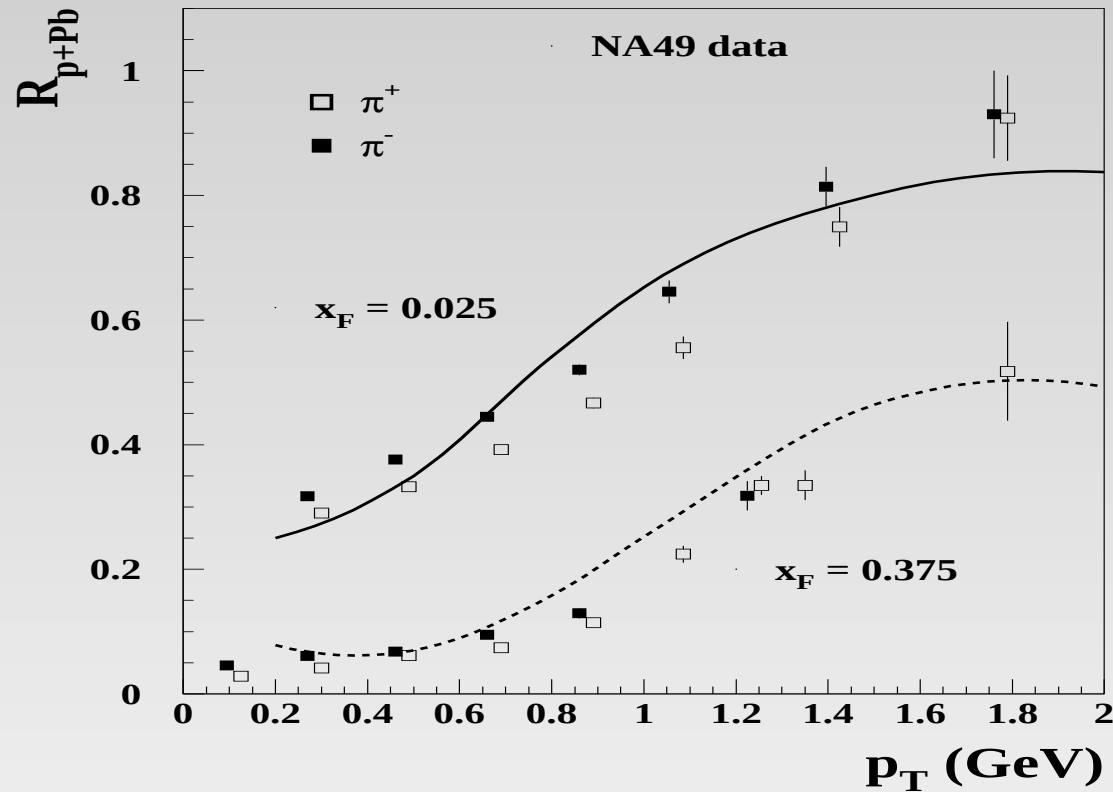
Jadrový modifikačný faktor pre π^0 v $d + Au$ zrážkach pre niekoľko fixovaných hodnôt η od 3 do 4

Hadróny s veľkými p_T pri dopredných η



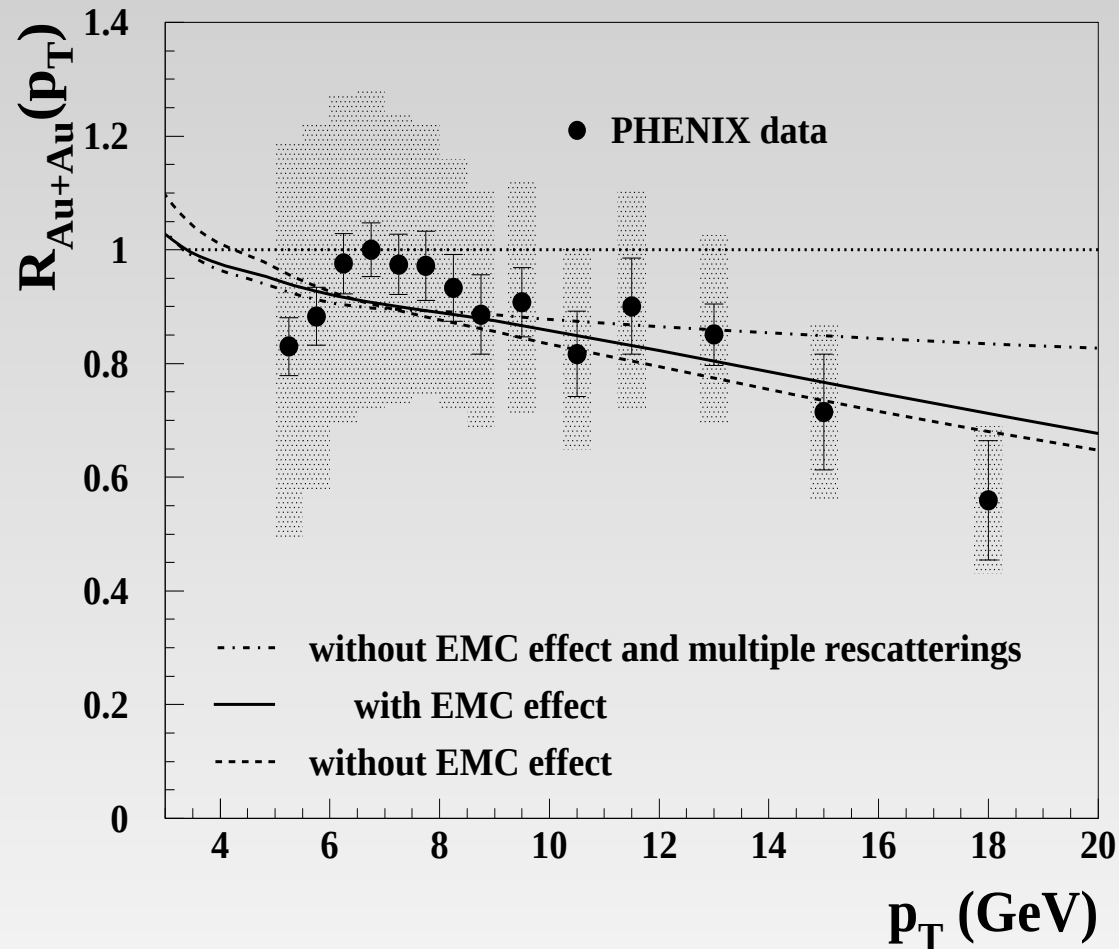
Predpovede pre približné $\exp(\eta)/\sqrt{s}$ - škálovanie in $d + Au$ zrážkach

NA49 data



Jadrový modifikačný faktor pre pióny produkované v $p + Pb$ zrážkach ako funkcia p_T pre dve rozdielne hodnoty x_F

Priame fotóny v $A + B$ zrážkach

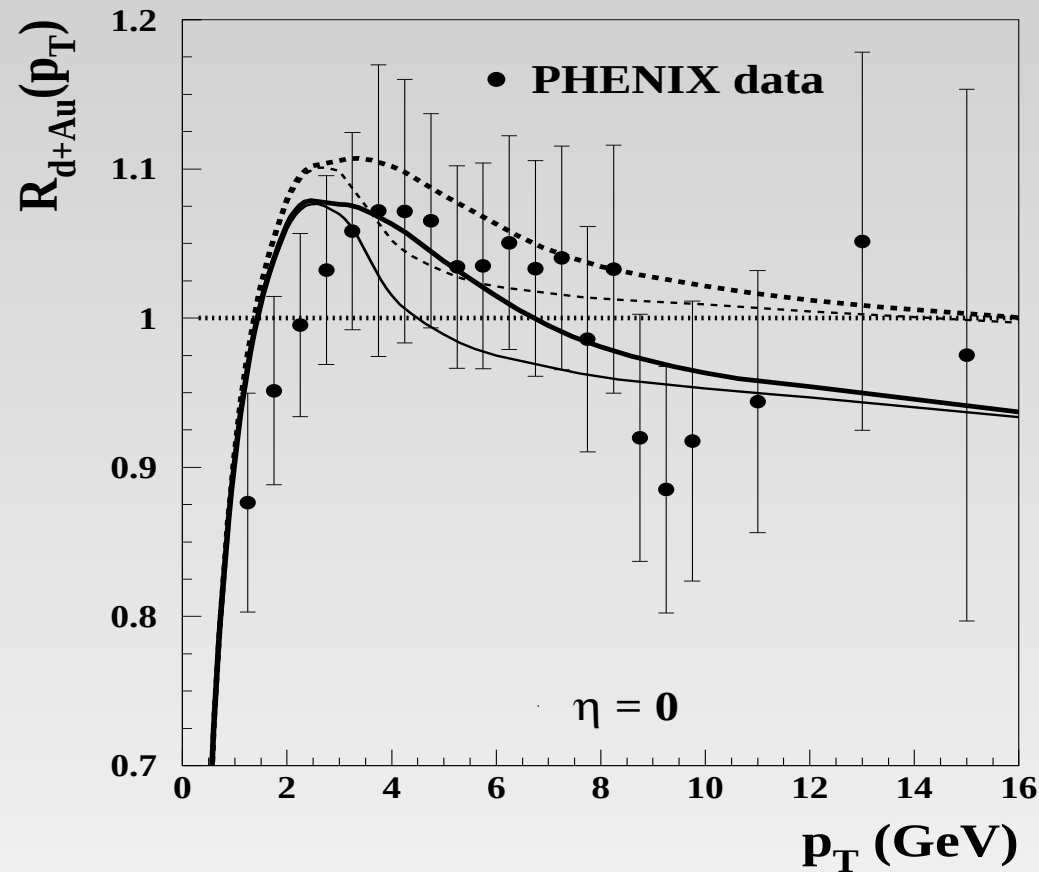


Jadrový modifikačný faktor pre priame fotóny

Hadróny pri centrálnych rapiditách

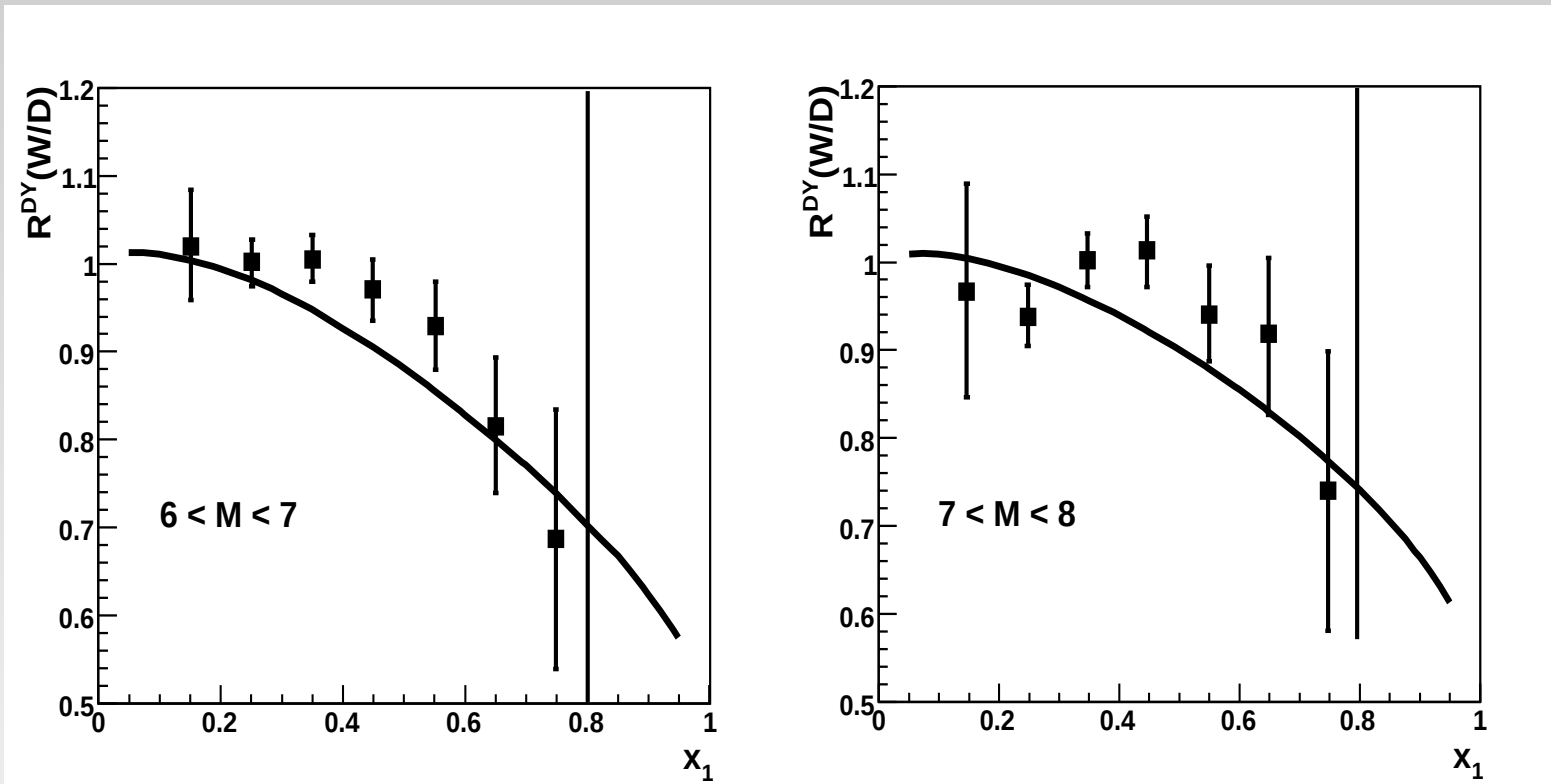


$$\eta = 0$$



Jadrový modifikačný faktor pre neutrálne pióny s veľkými p_T

Drell-Yan reakcia



Pomer účinných prierezov pre produkciu Drell-Yan párov na **W** a **D** ako funkcia x_1

Efekty v procesoch na jadrových terčíkoch



B.Z. Kopeliovich, J. Nemchik, I. Schmidt Nucl. Phys. A782, 224 (2007)

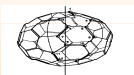
J. Nemchik, I. Potashnikova, V. Petracek, M. Sumbera; Phys. Rev. C78, 025213 (2008)

J. Nemchik, M. Sumbera; Nucl. Phys. A830, 611 (2009)

B.Z. Kopeliovich, J. Nemchik; J. Phys. G38, 043101 (2011)

J. Cepila, J. Nemchik; Nucl. Phys. A862-863, 445 (2011)

Fulerény

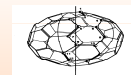


Electronic spectra of multiwalled fullerenes

M. Pudlak², R. Pincak^{1,2} and V.A. Osipov¹

¹Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow Region, Russia

²Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, Watsonova 47, 043 53 Kosice, Slovak Republic



Abstract

We present here the electronic structure of the C_{60} - C_{240} fullerene onion near the Fermi level. The analytical expressions for the hybridizations of the π orbitals on the fullerene shells were derived. The difference between the Fermi levels of individual fullerenes is obtained. The HOMO (highest occupied molecular orbital)-LUMO (lowest unoccupied molecular orbital) energy gap for the C_{60} - C_{240} carbon fullerene onion is calculated. The charge transfer from the outer shell to the inner shell in the base state of the onion is determined. Splitting and the shift of the energy levels of the onion as a result of intershell interaction is predicted.

Introduction

Recently, the problem of low energy electronic states in spheroidal fullerenes as well as the influence of a weak uniform external magnetic field pointed in the z and x directions have been considered [1-4]. At very large fullerenes with several hundred atoms a transition from single-shell fullerenes to nested multishell structures was predicted. Accordingly, multishell fullerenes are locally similar to graphite where similar intershell interactions γ_1 as in the bilayer graphite between shells can be used. Similar intershell interactions as in graphite could also be used for the fullerene onion because the spacing between shells in the onion is almost the same as the interlayer spacing in graphite $\sim 3.4 \text{ \AA}$. Moreover, the π states near the HOMO-LUMO gap and more strongly bound σ states have also a similar character as the corresponding states in graphite. The structure of multiwalled fullerene is shown in Fig.1.

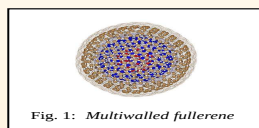


Fig. 1: Multiwalled fullerene

Hybridization of Fullerene π Orbitals

We consider the case of the $C_n - C_m$ fullerene onion, where n, m are numbers of atoms on the inner and outer shell, respectively, e.g. $n, m = 60, 240, 540, \dots$ and $m > n$. The hybridization of the orbitals of the inner and outer shell is different in these fullerene onions. Because of the curvature the coordinates of $\vec{r}_i$ in space are (Fig.2)

$$\begin{aligned}\vec{r}_1 &= d(\cos \theta; 0; -\sin \theta), \\ \vec{r}_2 &= d(e_x; -e_y; e_z), \\ \vec{r}_3 &= d(e_x; e_y; e_z),\end{aligned}\quad (1)$$

where $\sin \theta = d/2R$. We assume that the angle between the bonds $\vec{r}_1, \vec{r}_2$ and also $\vec{r}_1, \vec{r}_3$ is 120° .

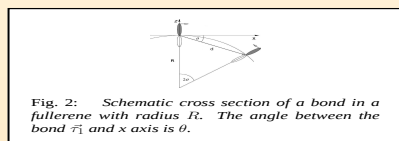


Fig. 2: Schematic cross section of a bond in a fullerene with radius R . The angle between the bond $\vec{r}_1$ and x axis is θ .

Fermi Level on the Inner and Outer shell

The radii of the inner and outer shell are different thus we need to calculate the values for the outer fullerene shell $\varepsilon = \langle \pi | H | \pi \rangle$ and ε for the inner one. Firstly, one needs to construct three hybrids along the three directions of the bonds. These directions are

$$\begin{aligned}\vec{e}_1 &= (\cos \theta; 0; -\sin \theta), \\ \vec{e}_2 &= (e_x; -e_y; e_z), \\ \vec{e}_3 &= (e_x; e_y; e_z).\end{aligned}\quad (2)$$

The requirement of orthonormality for the hybrid wave functions determines uniquely the fourth hybrid denoted by $|\pi\rangle$ which corresponds to the p_z orbital in graphite. The hybridization of the σ bonds, therefore, changes from the uncurved expression to

$$\begin{aligned}|\sigma_1\rangle &= s_1|s\rangle + \sqrt{1-s_1^2}(\cos \theta|p_x\rangle - \sin \theta|p_z\rangle), \\ |\sigma_2\rangle &= s_2|s\rangle + \sqrt{1-s_2^2}(e_x|p_x\rangle - e_y|p_y\rangle + e_z|p_z\rangle), \\ |\sigma_3\rangle &= s_3|s\rangle + \sqrt{1-s_3^2}(e_x|p_x\rangle + e_y|p_y\rangle + e_z|p_z\rangle).\end{aligned}$$

The mixing parameters s_i, D_j can be determined by the orthonormality conditions $\langle \sigma_i | \sigma_j \rangle = \delta_{ij}$, $\langle \pi | \sigma_i \rangle = 0, \langle \pi | \pi \rangle = 1$.

Analytical Expressions for the Hybridizations of the π Orbital on the Shell

With the assumptions above we finally got the analytical expressions for the hybridizations of the π orbital on the fullerene shell in the following form

$$|\pi\rangle = D_1|s\rangle + D_2|p_x\rangle + D_4|p_z\rangle, \quad (3)$$

and for the Fermi level on the fullerene shell

$$\varepsilon = \langle \pi | H | \pi \rangle = D_1^2 \langle s | H | s \rangle + D_2^2 \langle p_x | H | p_x \rangle + D_4^2 \langle p_z | H | p_z \rangle, \quad (4)$$

where

$$D_1 = \frac{d}{2R} \frac{\sqrt{1-A^2}\sqrt{1-B^2}(\sqrt{1-\frac{d^2}{4R^2}}-e_x)}{\sqrt{1-A^2}\sqrt{1-\frac{d^2}{4R^2}}B-A\sqrt{1-B^2}e_x} D_4 = \alpha D_4, \quad (5)$$

$$D_2 = \frac{d}{2R} \frac{\sqrt{1-A^2}B-\sqrt{1-B^2}A}{\sqrt{1-A^2}\sqrt{1-\frac{d^2}{4R^2}}B-A\sqrt{1-B^2}e_x} D_4 = \beta D_4, \quad (6)$$

$$D_4 = \frac{1}{\sqrt{1+\alpha^2+\beta^2}}, \quad (7)$$

and

$$A = \frac{(e_x\sqrt{1-\frac{d^2}{4R^2}}+\frac{d^2}{4R^2})^2}{2e_y e_y - 1 + (e_x\sqrt{1-\frac{d^2}{4R^2}}+\frac{d^2}{4R^2})^2}, \quad (8)$$

$$B = \sqrt{1-\frac{1}{2e_y e_y}}. \quad (9)$$

Now we can use the above expressions for computation of the HOMO-LUMO gap for, e.g., C_{60} - C_{240} fullerene onion. The schematic picture of the energy levels for fullerenes and fullerene onion are described in Fig.3.

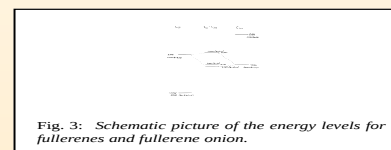


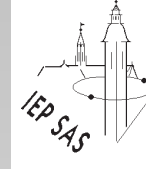
Fig. 3: Schematic picture of the energy levels for fullerenes and fullerene onion.

Conclusions

We found a HOMO-LUMO gap reduction in $C_{60} - C_{240}$ system in comparison with individual fullerenes [5]. The HOMO level is doubly degenerate and LUMO level is threefold degenerate in this double wall spherical system. There is a delocalization of electrons between the outer and inner shells. The probability to find electrons on the inner shell is larger than probability to find electrons on the outer shell. The approach described in the paper can also be used for calculations of HOMO-LUMO gaps of the other fullerene onions and moreover for the multiwalled fullerenes. The parameters required for computations of the HOMO-LUMO gaps using our exact analytical expressions, Eqs.3-9, are the following: the radius, the nearest neighbor length of the isolated fullerenes, and the intershell interaction. The experimental determination of the HOMO-LUMO gap for the $C_{60} - C_{240}$ fullerene onion we consider an important forthcoming step for verification of our predictions.

References

1. M. Pudlak, R. Pincak and V.A. Osipov, Phys.Rev. B **74** (2006) 235435.
2. M. Pudlak, R. Pincak and V.A. Osipov, Phys. Rev. A **75** (2007) 025201.
3. M. Pudlak, R. Pincak and V.A. Osipov, Phys. Rev. A **75** (2007) 065201.
4. M. Pudlak, R. Pincak and V.A. Osipov, Journal of Physics, Conf. Ser. **129** (2008) 012009.
5. R. Pincak, M. Pudlak, Chapter in book: Progress in Fullerene Research, ed. F. Columbus, Nova Science Publishers, New York, 2007, ISBN: 1-60021-841-5.
6. M. Pudlak, R. Pincak, Phys. Rev. A **79** (2009) 033202.



Fulerény

PHYSICAL REVIEW A **79**, 033202 (2009)

Energy gap between highest occupied molecular orbital and lowest unoccupied molecular orbital in multiwalled fullerenes

M. Pudlak^{1,*} and R. Pincak^{1,2,†}

¹*Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, Watsonova 47, 043 53 Kosice, Slovak Republic*

²*Joint Institute for Nuclear Research, BLTP, 141980 Dubna, Moscow region, Russia*

(Received 24 November 2008; revised manuscript received 23 January 2009; published 31 March 2009)

We report on the electronic structure of the C_{60} - C_{240} multiwalled fullerene (onion) near the Fermi level. The analytical expressions for the hybridizations of the π orbitals on the fullerene shells were derived. The difference between the Fermi levels of individual fullerenes is obtained. The highest occupied molecular orbital–lowest unoccupied molecular orbital energy gap for the C_{60} - C_{240} carbon fullerene onion is calculated. The charge transfer from the outer shell to the inner shell in the base state of the onion is determined. Splitting and the shift of the energy levels of the onion as a result of intershell interaction are predicted.

DOI: [10.1103/PhysRevA.79.033202](https://doi.org/10.1103/PhysRevA.79.033202)

PACS number(s): 36.40.Cg, 61.48.-c, 71.20.Tx, 81.05.Tp

I. INTRODUCTION

Recently, the problem of low-energy electronic states in spheroidal fullerenes as well as the influence of a weak uniform external magnetic field pointed in the z and x directions has been considered [1–3]. The main findings were the discovery of the fine structure with a specific shift of the electronic levels upward due to spheroidal deformation and the Zeeman splitting of electronic levels due to a weak uniform magnetic field. In addition, it was shown that the external magnetic field modified the density of electronic states and did not change the number of zero modes. It was found that modification of the electronic spectrum of the spheroidal fullerenes in the case of the x -directed magnetic field differs markedly from the case of the z -directed magnetic field [2,3]. This gives an additional possibility for experimental study of the electronic structure of deformed fullerene molecules.

The field-theory model where the specific structure of carbon lattice, geometry, and the topological defects (pentagons) were taken into account was explored in [2,3]. As the result of this approach, it was found in [2] that the zero-energy states corresponding to the highest occupied molecular orbital (HOMO) and the highest occupied molecular orbital–lowest unoccupied molecular orbital (HOMO-LUMO) energy gap were approximately 1.1 eV for the $YO-C_{240}$ fullerene which was in good agreement with data predicted in [4] (YO denotes the Yoshida-Osawa structure). The next step is to concentrate on the electronic properties of the multiwalled carbon structures (onions). Some attempts to describe the electronic structure of multiwalled fullerenes were presented in [5–7]. However, the prediction of the HOMO-LUMO gap of the fullerene onions is missing in the referred publications. This information, in our understanding, could be important and valuable especially for experimentalists. Accordingly, we were aimed to find a different theoretical approach for calculation of the gap.

We used the idea presented in [8,9] where the curvature effects in carbon nanotubes were studied as a function of

chirality. The result is that π orbitals are found to be significantly rehybridized in all nanostructures, so that they are never situated normally to the fullerene surface (in our case) but are tilted by the hybridization angle. The tilting of the π orbitals should be observable by atomic resolution scanning tunneling microscopy measurement. We derived the exact analytical expression for the hybridizations of the π orbitals on the fullerene shells and then used the expressions for computations of the HOMO-LUMO gap for the fullerene carbon onion.

At very large fullerenes with several hundred atoms a transition from single-shell fullerenes to nested multishell structures was determined in [10]. Accordingly, multishell fullerenes are locally similar to graphite where similar intershell interactions γ_1 as in the bilayer graphite between shells can be used. Similar intershell interactions as in graphite could also be used for the fullerene onion because the spacing between shells in the onion is almost the same as the interlayer spacing in graphite ~ 3.4 Å [11]. Moreover, the π states near the HOMO-LUMO gap and more strongly bound σ states have also a similar character as the corresponding states in graphite [12].

In the presented paper we focus on C_{60} - C_{240} fullerene onion. The paper is organized as follows. The influence of the curvature on the hybridization of fullerene π orbitals is computed in Sec. II. The model is explained in Sec. III. The calculated HOMO-LUMO gap and energy splitting are discussed in Sec. IV. We close the paper with several remarks in Sec. V.

II. TREATMENT OF HYBRIDIZATION OF FULLERENE π ORBITALS

We consider the case of the C_n - C_m fullerene onion, where n, m are numbers of atoms on the inner and outer shell, respectively, e.g., $n, m = 60, 240, 540, \dots$ and $m > n$. The hybridization of the orbitals of the inner and outer shell is different in these fullerene onions. Because of the curvature the coordinates of τ_i in space are (Fig. 1)

$$\vec{\tau}_1 = d(\cos \theta; 0; -\sin \theta),$$

*pudlak@saske.sk

†pincak@saske.sk

Nanotrúbky

The electronic spectra of double-wall zig-zag carbon nanotubes affected by the magnetic field

M. Pudlak², R. Pincak^{1,2}

¹Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow Region, Russia

²Institute of Experimental Physics, Slovak Academy of Sciences, Watsonova 47,043 53 Kosice, Slovak Republic



Abstract

We study the electronic spectra of (9,0)-(18,0) double walled carbon nanotubes influenced by the external magnetic field. We choose the orientation of the magnetic field parallel to the axis of nanotube. We found the strong change of the electronic spectra due to external magnetic field. It means the gap between valence and conductive bands in DWN will be changed. More precisely the gap will be increasing.

Introduction

A single-wall carbon nanotube can be described as a graphene sheet rolled into a cylindrical shape so that the structure is one-dimensional with axial symmetry and in general exhibiting a spiral conformation called chirality. Of special interest is the prediction that the calculated electronic structure of a carbon nanotube can be either metallic or semiconducting, depending on its diameter and chirality. The energy gap for a semiconductor nanotube, which is inversely proportional to its diameters, can be directly observed by scanning tunneling microscopy measurements. We now consider the electronic structure of carbon nanotubes in a uniform external magnetic field. There are two high symmetry cases for the direction of the magnetic field: one with the magnetic field parallel to the nanotube axis ($B \parallel z$) and the other with the magnetic field perpendicular to the nanotube axis, ($B \perp z$). Hereafter the nanotube axis is taken along the z-axis. In this paper we consider the case of $B \parallel z$. Especially we are interested in the zigzag (9,0) – (18,0) double-wall nanotubes (DWNs) affected by the magnetic field. When the magnetic field is parallel to the nanotube axis, electrons moving within the nanotube surface will feel a force perpendicular to the surface. As far as we consider only the transfer integral between two atoms within the nanotube surface, the electronic structure would appear to be unaffected by the magnetic field. This, however, is not correct. The wavefunction will change its phase factor and thus its momentum, k , will shift depending on the magnetic flux penetrating the cross section of the carbon nanotube. This phenomenon is generally known as the Aharonov-Bohm effect, discussed often in the case of cylindrical geometry. Since the carbon nanotube can be a metal or a semiconductor, depending on whether there is an allowed wavevector k in the circumferential direction that has the value of the K point in the two-dimensional Brillouin zone, this Aharonov-Bohm effect will modify the energy gap of a carbon nanotube as a function of magnetic field.

(9,0) – (18,0) zig-zag tubule

The π electronic structures are calculated from the tight-binding Hamiltonian

$$H = \sum_i \varepsilon |\varphi_i^{out}\rangle \langle \varphi_i^{out}| + \sum_{i,j} \gamma_{ij} \left(|\varphi_i^{in}\rangle \langle \varphi_j^{in}| + h.c \right) + \sum_i \tilde{\varepsilon} |\varphi_i^{in}\rangle \langle \varphi_i^{in}| + \sum_{i,j} \tilde{\gamma}_{ij} \left(|\varphi_i^{in}\rangle \langle \varphi_j^{in}| + h.c \right) + \sum_{i,n} W_{in} \left(|\varphi_i^{in}\rangle \langle \varphi_n^{out}| + h.c \right), \quad (1)$$

ε and $\tilde{\varepsilon}$ are Fermi energies of the outer and inner nanotubes; $|\varphi_i^{out}\rangle$, $|\varphi_i^{in}\rangle$ are π orbitals on site i at the outer and inner tubes; γ_{ij} , $\tilde{\gamma}_{ij}$ are the intratube hopping integrals; W_{ij} are the intertube hopping integrals which depends on the distance d_{ij} and angle θ_{ij} between the π_i and π_j orbitals.

$$W_{ij} = \frac{\gamma_0}{8} \cos(\theta_{ij}) e^{i(\xi - d_{ij})/\delta}, \quad (2)$$

where θ_{ij} is an angle between the i th atom of the inner shell and the j th atom of the outer shell, d_{ij} is the interatom distance and ξ is a intertube distance. The characteristic length $\delta = 0.45\text{\AA}$. We assume the symmetric geometry of zig-zag DWN. It was considered that hopping between shells takes place only between atoms which occupy position directly each above other [1,2]. Zig-zag carbon DWN is assumed to exist in a uniform magnetic field parallel to the nanotube axis. The gauge $\vec{A} = (-By/2, Bx/2, 0)$ was used [3]. The parallel magnetic field induced the shifts

$$k_x \rightarrow k_x + \frac{\Phi}{L\Phi_0}$$

for outer tube and

$$k_x \rightarrow k_x + \frac{\Phi}{2L\Phi_0}$$

for inner tube. The magnetic flux is $\Phi = \pi r^2 B$ (r is a radius and L diameter of the inner tube), and $\Phi_0 = hc/e$ is the flux quantum.

The electronic structure of zig-zag nanotubes

To construct the Hamiltonian, we use only the valence and conductive states of individual nanotubes in the absence of intertube interaction. The electronic structures can be calculated from the Hamiltonian

$$H = \begin{pmatrix} \Delta + b2 & 0 & H_{3,11} & H_{3,12} \\ 0 & \Delta - b2 & H_{4,11} & H_{4,12} \\ H_{11,3} & H_{11,4} & -\Delta + b6 & 0 \\ H_{12,3} & H_{12,4} & 0 & -\Delta - b6 \end{pmatrix} \quad (3)$$

where

$$b2 = \gamma_0(1 - 2\xi \cos \frac{\sqrt{3}ka}{2} + \xi^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

$$b6 = \gamma_0(1 - 2\tilde{\xi} \cos \frac{\sqrt{3}ka}{2} + \tilde{\xi}^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

$$H_{3,11} = H_{4,12} = \frac{1}{4\sqrt{2}} \frac{\gamma_0}{8} \left(1 + e^{-i(\varphi_6 - \varphi_2)} \right), \quad (6)$$

$$H_{4,11} = H_{3,12} = \frac{1}{4\sqrt{2}} \frac{\gamma_0}{8} \left(1 - e^{-i(\varphi_6 - \varphi_2)} \right), \quad (7)$$

$$e^{i(\varphi_6 - \varphi_2)} = \gamma_0^2 \frac{1 - \xi e^{i\frac{\sqrt{3}ka}{2}} - \tilde{\xi} e^{-i\frac{\sqrt{3}ka}{2}} + \xi \tilde{\xi}}{b2 b6} \quad (8)$$

$2\Delta (\approx 0.21\text{eV})$ is a Fermi energy difference of the outer and inner nanotubes, $\Psi(k) = (d_3, d_4, d_{11}, d_{12})$ and d_i is an amplitude to find electron in state ψ_i . The wave functions ψ_3, ψ_4 are conductance and valence states of outer nanotube and ψ_{11}, ψ_{12} are conductance and valence states of inner nanotube in the absence of the intertube interaction [2]. The parameter $\gamma_0 (\approx 3\text{eV})$ is the hopping integral in the graphene.

The parameters $\xi, \tilde{\xi}$ can be expressed in the form

$$\tilde{\xi} = 2\tilde{\beta} \cos\left(\frac{m\pi}{9} + \frac{\Phi}{9\Phi_0}\right), \quad (9)$$

and

$$\xi = 2\beta \cos\left(\frac{m\pi}{9} + \frac{\Phi}{18\Phi_0}\right), \quad (10)$$

where the parameters $\tilde{\beta}$ and β are the same as in [1,2]. The eigenvalues of Hamiltonian (1) for some values of $\sqrt{3}ka/2$ near the point $k = 0$ are depicted on Fig.1. as was computed in [1]. Figure 2 shows broadening of the gap between valence and conductive bands due to the influence of the magnetic field parallel to the z axes. The bigger magnetic field is affecting the larger broadening of the gap will be.

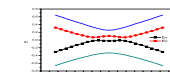


Fig. 1: Spectra of zigzag DWN where E_v and E_c are conductive and valence band.

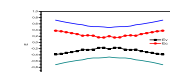


Fig. 2: Spectra of zigzag DWN affected by the magnetic field with value used $\Phi/\Phi_0 = 0.5$.

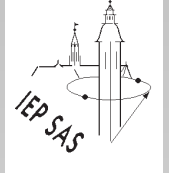
Conclusions

As was described in [1,2] the Fermi level of the outer shell is about 0.21 eV higher than the Fermi level of the inner shell in the case of zig-zag SWNs. In the case of zig-zag DWNs the curvature do not shift the k_F of the individual nanotubes. The result is that these DWNs are semiconductors. Generally we can say that the conductivity depends on the relative position of the Fermi points k_F of individual nanotubes. If there is no shift the DWN is a semiconductor. If there is a shift in the dependence on Fermi levels and the energy gaps of individual nanotubes the DWN can be semimetal or semiconductor. Since the presence of an energy gap in a carbon nanotube is determined by whether or not the one-dimensional energy bands cross or do not cross at the K or K' points at the corners of the 2D Brillouin zone, a semiconducting carbon nanotube can become metallic in a parallel magnetic field at certain values of the phase shift, and conversely a metallic nanotube can become semiconducting in a parallel magnetic field, the energy gap thus oscillates. The significance in a carbon nanotube is that the semiconducting or metallic nature of the nanotube can be altered only by applying a magnetic field parallel to the nanotube axis. This is because the distinction between a semiconducting and a metallic carbon nanotube arises from a quantum effect in which discrete wave numbers in the circumferential direction distinguish between metallic and semiconducting properties. When the carbon nanotube has a semiconducting character, the energy dispersion is quadratic at the top of the valence band and at the bottom of the conduction band. Thus the effective mass of an electron contributing to the transport properties of a carbon nanotube is a function of magnetic field.

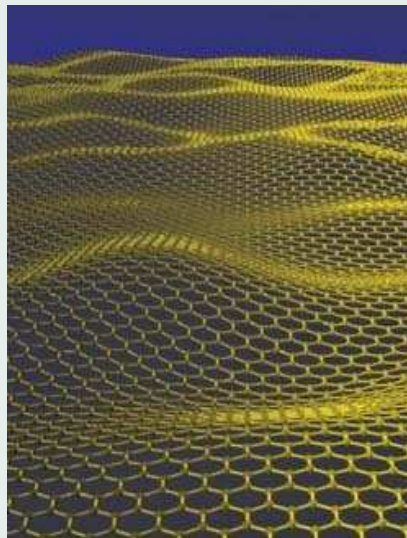
References

1. M. Pudlak, R. Pincak, Journal of Physics, Conf. Ser. **129** (2008) 012011.
2. M. Pudlak, R. Pincak, Eur. Phys. J. B **67** (2009) 565.
3. R. Saito, G. Dresselhaus, M. S. Dresselhaus *Physical Properties of Carbon Nanotubes* (ICP, 1998).

Flexibilné grafény



Electronic properties of flexible graphene



J.Phys.:Condens.Matter 22 (2010) 395502

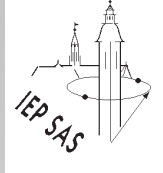
Eur. Phys. J. B, DOI:10.1140/epjb/e2011-20384-6

Vysokoenergetické častice vo vesmíre



- Distribúcia vysokoenergetických častíc v stochastickom magnetickom poli

Vysokoenergetické častice vo vesmíre



- Distribúcia vysokoenergetických častíc v stochastickom magnetickom poli
- Bola riešená problematika teoretického popisu transportu nabitých častíc v turbulizovanom magnetickom poli. Na báze Boltzmanovej kinetickej rovnice boli nájdené viaceré riešenia popisujúce distribúciu častíc najmä po ich okamžitej emisii zo zdroja. Korelácia fluktuácii magnetického pol'a a pol'a rýchlosti v gyrotropnom prostredí vedie ku tzv. alfa mechanizmu statistického urýchl'ovania častíc.

Vysokoenergetické častice vo vesmíre



- Boli odvodené príslušné stacionárne i nestacionárne riešenia pre časové profily a energetické spektra urýchlených častíc. Bol vypočítaný stredný zisk (resp. straty) energie častíc počas ich modulácie v heliosfére v prípade ich slabého rozptylu v nehomogénnom magnetickom poli a bola určená hustota toku energie častíc v heliosfére.

Vysokoenergetické častice vo vesmíre



- Boli odvodené príslušné stacionárne i nestacionárne riešenia pre časové profily a energetické spektra urýchlených častíc. Bol vypočítaný stredný zisk (resp. straty) energie častíc počas ich modulácie v heliosfére v prípade ich slabého rozptylu v nehomogénnom magnetickom poli a bola určená hustota toku energie častíc v heliosfére.

- Teoretické štúdium transportu častíc v turbulentnej heliosfére vyústilo do doktorskej dizertačnej práce:

M.Stehlik - **Transport of high energy charged particles in heliospheric turbulent magnetic fields**

obhájenej v decembri 2009 v HAO NAV Ukrajiny (Kijev).

Vedecké výstupy

SCES

- P. Farkasovsky;
Acta Phys. Slov. 60, 497 (2010)
- P. Farkasovsky, H. Cencarikova, S. Matas;
Phys. Rev. B 82, 054409 (2010)
- H. Cencarikova, P. Farkasovsky;
Eur. Phys. J. B 77, 393 (2010)
- M. Zonda, P. Farkasovsky, H. Cencarikova;
Solid State Communications 149, 1997 (2009)
- M. Zonda, P. Farkasovsky, H. Cencarikova;
Phase Transitions 82, 19 (2009)
- P. Farkasovsky;
Europhys. Lett. 84, 37010 (2008)

Vedecké výstupy

SCES

- H. Cencarikova, P. Farkasovsky, N. Tomasovicova, et al.;
Phys. Stat. Sol. B245, 2593 (2008)
- P. Farkasovsky;
Phys. Rev. B77, 155130 (2008)
- P. Farkasovsky;
Phys. Rev. B 77, 085110 (2008)
- H. Cencarikova, P. Farkasovsky;
Phys. Stat. Sol. B244, 1900 (2007)
- M. Zonda;
Mod. Phys. Lett. B21, 467 (2007)

Vedecké výstupy

Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP

- M. Hnatich, S. Sprinc, M. Stehlik, F. Tomasz:
Energy transfer in spectra of the d-dimensional past grid turbulence
Int. J. Theor. Phys. 46, 1254 (2007)
- D.I. Bondar, M. Hnatich, V.Yu. Lazur;
The two Coulomb centres problem at small intercentre separations in the space of arbitrary dimension
J. Phys. A: Mathematical and Theoretical 40, 1791 (2007).
- L.T. Adzhemyan, M Hnatich, J Honkonen;
Improved $E >$ expansion in the theory of turbulence: summation of nearest singularities by inclusion of an infrared irrelevant operator
Eur. Phys. J. B73, 275 (2010)

Vedecké výstupy

Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP

- M. Hnatich, J. Honkonen, T. Lucivjansky;
Field theory approach in kinetic reaction: Role of random sources and sinks
Theor. and Math. Phys. 169, 1489 (2011)
- M. Hnatich, J. Honkonen, T. Lucivjansky;
Study of anomalous kinetics of annihilation reaction $A + A \rightarrow 0$
Theor. and Math. Phys. 169, 1481 (2011)

Vedecké výstupy

Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP

- E. Juncisinova, M. Juncisin;
Anomalous scaling of a passive scalar advected by a turbulent velocity field with finite correlation time and uniaxial small-scale anisotropy
Phys. Rev. E77, 016306 (2008)
- E. Juncisinova, M. Juncisin, R. Remecky, M. Scholtz;
Combined effects of small scale anisotropy and compressibility on anomalous scaling of a passive scalar
Int. J. Mod. Phys. B22, 3589 (2008)
- E. Juncisinova, M. Juncisin, R. Remecky;
Anomalous scaling of a passive vector advected by the Navier-Stokes velocity field
J. Phys. A: Math. Theor. 42, 275501 (2009)

Vedecké výstupy

Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP

- E. Juncisinova, M. Juncisin, R. Remecky;
Influence of helicity on the Kolmogorov regime in fully developed turbulence
Phys. Rev. E79, 046319 (2009)
- E. Juncisinova, M. Juncisin, R. Remecky;
Influence of anisotropy on anomalous scaling of a passive scalar advected by the Navier-Stokes velocity field
Phys. Rev. E80, 046302 (2009)
- E. Juncisinova, M. Juncisin, R. Remecky;
Comment on "Two-loop calculation of the turbulent Prandtl number"
Phys. Rev. E82, 028301 (2010)

Vedecké výstupy

Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP

- E. Juncisinova, M. Juncisin;
A general formula for analytic reduction of multi-loop tensor Feynman integrals
Phys. Lett. B692, 57 (2010)
- A.V. Gladyshev, E. Juncisinova, M. Juncisin, R. Remecky;
Anomalous Scaling in Helical Turbulent Environment
Phys. Par. Nuc. 41, 1023 (2010)
- E. Juncisinova, M. Juncisin, R. Remecky;
Turbulent magnetic Prandtl number in kinematic magnetohydrodynamic turbulence: Two-loop approximation
Phys. Rev. E84, 046311 (2011)

Vedecké výstupy

Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky metódami KTP

- E. Jurcisinova, M. Jurcisin, R. Remecky;
Influence of helicity on the turbulent Prandtl number:
Two-loop approximation
Theor. and Math. Phys. 169, 1561 (2011)

Vedecké výstupy

Teória štrukturalizačných javov v systémoch nanočastíc

- V. Zavisova, M. Koneracka, ..., P. Kopcansky, et al.;
J. Magn. and Magn. Mat. 311, 379 (2007)
- P. Kopcansky, N. Tomasovicova, M. Koneracka, et al.;
Phys. Rev. E78, 011702 (2008)
- N. Tomasovicova, P. Kopcansky, M. Koneracka, et al.;
J. Phys.: Condensed Matter 20, 204123 (2008)
- M. Cavallini, E. Bystrenova, M. Timko, M. Koneracka, V. Zavisova, P. Kopcansky:
J. Phys.: Condensed Matter 20, 204144 (2008)
- M. Koneracka, M. Muckova, V. Zavisova, N. Tomasovicova, P. Kopcansky, et al.;
J. Phys.: Condensed Matter 20, 204151 (2008)

Vedecké výstupy

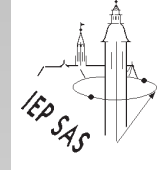
Teória štrukturalizačných javov v systémoch nanočastíc

- M. Avdeev, A. Feoktystov, P. Kopcansky, G. Lancz, et al.;
J. Appl. Crystal. 43, 959 (2010)
- M. Timko, ... , P. Kopcansky, N. Tomasovicova;
J. Magn. and Magn. Mat. 321, 1521 (2009)
- A. Bellova, ... , P. Kopcansky, et al.;
Nanotechnology 21, 065103 (2010)
- Z. Rozynek, ... , P. Kopcansky, M. Koneracka;
Eur. Phys. J. E34, 28 (2011)
- Z. Mitroova, ..., P. Kopcansky;
New J. Chem. 35, 1260 (2011)
- A. Dzarova, ..., P. Kopcansky, et al.;
J. Magn. and Magn. Mat. 323, 1453 (2011)

Vedecké výstupy

supratekutost' a supravodivost', fyzika
nehomogénnych tuhých látok

- M. Kupkova, M. Kupka, S. Strobl, at al.
On a discrepancy in modulus of elasticity as determined
from separate resonance frequencies of a bar sintered from
copper-coated iron powder.
Scripta Materialia 57, 639 (2007)
- M. Clovecko, E. Gazo, M. Kupka, P. Skyba;
New Non-Goldstone Collective Mode of BEC of Magnons
in Superfluid $^3\text{He-B}$.
Phys. Rev. Lett. 100, 155301 (2008)
- M. Clovecko, E. Gazo, M. Kupka, M. Skyba, P. Skyba;
High Quality Tuning Forks in Superfluid $^3\text{He-B}$ Below 200
microK
J. Low Temp. Phys. 162, 669 (2011)



Vedecké výstupy

Efekty v procesoch na jadrových terčíkoch

- B.Z. Kopeliovich, J. Nemchik, I. Schmidt;
Time Evolution of Jets and Perturbative Color
Neutralization,
Nucl. Phys. A782, 224 (2007)
- B.Z. Kopeliovich, J. Nemchik, I. Schmidt;
Color Transparency at Low Energies: Predictions for JLAB,
Phys. Rev. C76,015205 (2007)
- B.Z. Kopeliovich, J. Nemchik, I. Schmidt;
Production of Polarized Vector Mesons off Nuclei,
Phys. Rev. C76, 025210 (2007)
- J. Nemchik, I. Potashnikova, V. Petracek, M. Sumbera;
Nuclear suppression at large forward rapidities in d-Au
collisions at relativistic and ultrarelativistic energies,
Phys. Rev. C78, 025213 (2008)

Vedecké výstupy

Efekty v procesoch na jadrových terčíkoch

- B.Z. Kopeliovich, J. Nemchik, I. Potashnikova, I. Schmidt;
Gluon Shadowing in DIS off Nuclei,
J. Phys. G35, 115010 (2008)
- J. Nemchik, M. Sumbera;
Physics of Large-x Nuclear Suppression,
Nucl. Phys. A830, 611 (2009)
- B.Z. Kopeliovich, J. Nemchik;
Challenges of high-p(T) processes on nuclei,
J. Phys. G38, 043101 (2011)
- J. Cepila, J. Nemchik;
Direct Photon Production in Proton-Nucleus and
Nucleus-Nucleus Collisions,
Nucl. Phys. A862-863, 445 (2011)

Vedecké výstupy

Fulerény, nanotrubky, grafény

- M. Pudlak, R. Pincak, V.A. Osipov;
Electronic structure of spheroidal fullerenes in a weak uniform magnetic field: A continuum field-theory model
Phys. Rev. A75, 025201 (2007)
- M. Pudlak, R. Pincak, V.A. Osipov;
Effect of symmetry on the electronic structure of spheroidal fullerenes in a weak uniform magnetic field
Phys. Rev. A75, 065201 (2007)
- M. Pudlak, R. Pincak;
Electronic properties of double-layer carbon nanotubes
Eur. Phys. J. B67, 565 (2009)

Vedecké výstupy

Fulerény, nanotrúbky, grafény

- M. Pudlak, R. Pincak;
Energy gap between highest occupied molecular orbital and lowest unoccupied molecular orbital in multiwalled fullerenes
Phys. Rev. A79, 033202 (2009)
- M. Pudlak, R. Pincak;
Electronic pathway in reaction centers from Rhodobacter sphaeroides and Chloroflexus aurantiacus
J. Biol. Phys. 36, 273 (2010)
- E.A. Kochetov, V.A. Osipov, R. Pincak;
Electronic properties of disclinated flexible membrane beyond the inextensional limit: application to graphene
J. Phys.: Condens. Matter 22, 395502 (2010)

Vedecké výstupy

Elektrónové prenosy vo fotosyntetických reakčných centrách

■ M. Pudlak, R. Pincak;

Influence of the electric field on the electron transport in
photosynthetic reaction centers

Eur. Phys. J. E34, 22 (2011)

Vedecké výstupy

Vysokoenergetické častice vo vesmíre

- B.A. Shakhov, M. Stehlik;
Exact kinetic transport equation solutions in the particle propagation theory in the scattering medium
J. Quantit. Spectrosc. Radiat. Transfer. 109, 1667 (2008)
- Yu. I. Fedorov, M. Stehlik;
Stochastic acceleration by the induced electric field versus the Fermi acceleration
J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 43, 185701 (2010)
- B.A. Shakhov, M. Stehlik;
The alpha-effect and proton acceleration in the Solar wind
Kinem. Fiz. Nebes. Tel, Ser. Kosmich. Fiz. 24, 28 (2008)

Monografie, kapitoly

- P. Farkasovsky, H. Cencarikova;
Kooperatívne javy v sústavách silne korelovaných
fermiónov
Slovenská fyzikálna spoločnosť, ISBN:
978-80-970625-2-1 (2011)
- P. Farkasovsky, H. Cencarikova;
Cooperative Phenomena in Strongly Correlated Systems
Lambert Academic Publishing, ISBN:978-3-8465-0611-0
(2011)
- P. Farkasovsky, H. Cencarikova;
Kvantové javy na optických mriežkach
V. Cambel et al.; Kryofyzika a nanoelektronika. Košice :
Ústav experimentálnej fyziky, ISBN: 978-80-968060-9-6
(2011)

Monografie, kapitoly

- R. Pincak, M. Pudlak;
Electronic structure of spheroidal fullerenes - chapter in
book - Progress in Fullerene Research
ed. F. Columbus, Nova Science Publishers, New York,
ISBN: 1-60021-841-5 (2007)

Ohlasy na vedecké výstupy

SCES

- cca 60 citácií

Štúdium stochastickej nelineárnej dynamiky
metódami KTP

- cca 120 citácií

Teória štrukturalizačných javov v systémoch
nanočastíc

- cca 240 citácií

Supratekutosť a supravodivosť, fyzika
nehomogénnych tuhých látok

- cca 10 citácií

Efekty v procesoch na jadrových terčíkoch

- cca 150 citácií

Ohlasy na vedecké výstupy

Fulerény, nanotrúbky, grafény

- cca 20 citácií

Vysokoenergetické častice vo vesmíre

- cca 10 citácií

S P O L U - cca 610 citácií

Vedecké postavenie

organizovanie alebo spoluorganizovanie medzinárodných konferencií

- **M. Hnatič, P. Kopčanský:** International Conferences - STM: Small Triangle Meeting on Theoretical Physics, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011;
(MH - chairman)
- **M. Hnatič, P. Kopčanský:** International Conference - Mathematical Modeling and Computational Physics (MMCP-2009), July 2009, JINR, Dubna Ruusia;
(MH - člen advisory committee)
- **M. Hnatič, P. Kopčanský:** International Conference - Mathematical Modeling and Computational Physics (MMCP-2011), Jul 4-8, 2011, Stara Lesna, Slovakia;
(MH - chairman, PK - člen advisory committee)

Vedecké postavenie

organizovanie alebo spoluorganizovanie medzinárodných konferencií

- **M. Hnatič:** International Conference - Models of quantum field theory (MQFT-2010), Oktober 2010, Sankt Peterburg, Russia
(člen advisory committee)
- **P. Kopčanský:** 11th International Conference on Magnetic Fluids, July 23-27, 2007, Košice, Slovakia
(chairman konferencie 250 účastníkov)
- **P. Kopčanský:** Pracovné workshopy I-IV pod záštitou Centra Excelentnosti - Centrum nanokvapalín
- **P. Kopčanský:** The 4th International Conference - Distributed Computing and Grid-technologies in Science and Education, Jun 28 - Jul 3, 2010, Dubna, Russia
(člen advisory committee)

Vedecké postavenie

organizovanie alebo spoluorganizovanie
medzinárodných konferencií

- **M. Hnatič:** International Conference - Hadron Structure
2009 (HS-2009), June 2009, Tatranská Štrba, Slovakia
Hadron Structure 2011 (HS-2011), June 2011, Tatranská
Štrba, Slovakia
(člen organizing committee)

Vedecké postavenie

zoznam pozvaných prednášok na medzinárodných konferenciách

- **P. Kopčanský:** Magnetic nanoparticles and their application in biomedicine
In: 16th Conference of Czech and Slovak Physicists, September 8-11, 2008, Hradec Králové, Czech Republic
- **P. Kopčanský:** How magnetic nanoparticles can influence the sensitivity of liquid crystals to external magnetic fields
In: Workshop "Smart Fluids and Complex Flows", June 5-6, 2009, Timisoara, Romania
- **P. Kopčanský:** Polymer magnetic nanoparticles for magnetic drug targeting
In: Workshop "Smart Fluids and Complex Flows", June 5-6, 2009, Timisoara, Romania

Vedecké postavenie

zoznam pozvaných prednášok na medzinárodných konferenciách

- **P. Kopčanský:** Dielectric properties of transformer oil based magnetic fluids
In: Workshop "Smart Fluids and Complex Flows", June 5-6, 2009, Timisoara, Romania
- **P. Kopčanský:** Ako magnetické nanočastice ovplyvňujú citlivosť kvapalných kryštálov na magnetické pole
In: 17. Konferencia slovenských fyzikov, September 16-19, 2009, Bratislava, Slovakia
- **M. Jurčišin:** Higgs boson mass in the MSSM and NMSSM
In: Collider workshop Kosice-Prague-Bratislava, September 23-24, 2010, Kysak, Slovakia



Vedecké postavenie

zoznam pozvaných prednášok na medzinárodných konferenciách

- **R. Pinčák:** The electronic spectra of spheroidal fullerenes
In: International Conference on Theoretical Physics, (Nano 2008), July 7-11, 2008, JINR, Dubna, Russia
- **J. Nemčík:** Nuclear Suppression at Large Feynman x
In: Internation Workshop on Nuclear Medium Effects on the Quark and Gluon Structure of Hadrons, June 3-7, 2008, ECT* Trento, Italy
- **J. Nemčík:** Nuclear Shadowing in the Light-Cone Dipole Approach
In: High-pT Physics at LHC (LHC-07), Mar 23-27, 2007, Jyvaskyla, Finland

Vedecké postavenie

zoznam pozvaných prednášok na medzinárodných konferenciách

- **J. Nemčík:** Forward Physics in Proton-Nucleus and Nucleus-Nucleus Collisions
In: 6th International Conference on Perspectives in Hadronic Physics, May 12-16, 2008, Trieste, Italy
- **J. Nemčík:** Physics of Large-x Nuclear Suppression
In: 21st International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions, QUARK MATTER, Mar 30 - Apr 4, 2009, Knoxville, USA
- **J. Nemčík:** Nuclear suppression at large x
In: Workshop on High pT Physics at LHC (LHC09), Feb 4-7, 2009, Prague, Czech Republic

Vedecké postavenie

zoznam pozvaných prednášok na medzinárodných konferenciách

- **M. Hnatič:** Six lectures on Quantum Field Theory - Application of the quantum-field theory methods in the theory of developed turbulence:
 1. Short introduction to the theory of stochastic developed turbulence
 2. Basic terminology and technology of QFT. Schwinger equations. Divergences of graphs and ultraviolet renormalization
 3. Equivalence of a stochastic problem and an effective quantum field theory (field-theoretic model). Formulation of the model of stochastic developed turbulence as the field-theoretic model
 4. Galilean symmetry of the model, Ward identities

Vedecké postavenie

zoznam pozvaných prednášok na medzinárodných konferenciách

- **M. Hnatič:** Six lectures on Quantum Field Theory -
Application of the quantum-field theory methods in the
theory of developed turbulence:
 - 5. Conservation laws for the energy and momentum
 - 6. Stochastic MHD as a quantum field model
- In: The Workshop on Tools on Theoretical Physics and the
Problem of Turbulence, Feb 16-20, 2009, Kolkata, India

Vedecké postavenie

zoznam ocenení a vyznamenaní

- Cena SAV za výsledky dosiahnuté v oblasti štúdia cieleného transportu liečiv pomocou magnetických nanočastíc - 2007
P. Kopčanský
- II. cena SFS Mladý fyzik do 35 rokov - 2011
Hana Čenčariková
- II. cena SFS Mladý fyzik do 35 rokov - 2010
Richard Remecký
- II. miesto ÚEF SAV v hodnotení najvýznamnejších výsledkov ústavu v oblasti medzinárodných projektov - 2010
R. Pinčák

Vedecké postavenie

zoznam ocenení a vyznamenaní

- Certifikát Y.A. Smorodinskeho v oblasti teoretickej fyziky, BLTF, JINR, Dubna, Rusko - - 2009
R. Pinčák
- I. miesto za najlepšiu teoretický výsledok za rok 2008 v BLTF, JINR, Dubna, Rusko - 2009
R. Pinčák



Vedecké postavenie

recenzie významných časopisov

Acta Physica Polonica,
Eur. J. Phys.,
Int. J. Theor. Phys.,
Int. J. Thermophysics,
J. Magn. and Magn. Mat.,
J. Phys. A: Math. Gen.,
J. Stat. Phys.
Journal of Physics: Condensed Matter,
Nanotechnology,
Physica D,
Phys. Rev. B,
Phys. Rev. E,
Phys. Rev. Lett.,
Theor. and Math. Phys.

Vedecké postavenie

Ukončení doktorandi

- Stanislav Šprinc - 2008
- Vlasta Závišová - 2009
- Oliver Štrbák - 2010
- Martin Žonda - 2010
- Gábor Lancz - 2011
- Lucia Val'ová - 2011
- Richard Remecký - 2011

Vedecké postavenie

Obhajoby DrSc.

- Michal Hnatič - 2007

Field-Theoretic Methods in Stochastic Models of
Developed Turbulence

Dizertačná práca na získanie titulu DrSc., FMFI UK,
Bratislava, 2007, 47 str.

- Milan Stehlík - 2009

Transport of high energy charged particles in heliospheric
turbulent magnetic fields

Dizertačná práca na získanie titulu DrSc., Kijev, HAO NAS
Ukrajina, 2009, 303 str.

- Pavol Farkašovský (v procese) - 2012

PROJEKTY

Centrum excelentnosti

- Centrum excelentnosti SAV - centrum nanokvapalín, 2009 - 2012

zodpovedný riešiteľ: Peter Kopčanský, cca 150.000 EUR
za 4 roky

PROJEKTY

Agentúra na podporu výskumu a vývoja

- APVV 0509-07 - MAGNOLIC - Štruktúrne prechody v kvapalných kryštáloch dopovaných nanočasticami, 2008 - 2010
zodpovedný riešiteľ': Peter Kopčanský, cca 120.000 EUR
- APVV-0171-10 - METAMYLC - Štrukturalizačné javy v systémoch s nanočasticami, 2011 - 2014
zodpovedný riešiteľ': Peter Kopčanský, cca 250.000 EUR
- LPP-0047-06 - Štúdium silne korelovaných elektrónových systémov za hranicami štandardných priblížení, 2006 - 2009
zodpovedný riešiteľ': Pavol Farkašovský, cca 24.000 EUR

PROJEKTY

Agentúra na podporu výskumu a vývoja

- APVV 51-027904 - Štúdium fázových prechodov, kooperatívnych javov a štruktúrnych zmien v nanomateriáloch, kritickej a stochastickej dynamike, 2005 - 2007

zodpovedný riešiteľ': Michal Hnatič, cca 23.000 EUR za rok 2007

PROJEKTY

Slovenská vedecká grantová agentúra

- VEGA 2/6166/26 - Štúdium niektorých fyzikálnych procesov v systémoch obsahujúcich magnetické nanočastice v elektromagnetickom poli, 2006 - 2008
zodpovedný riešiteľ: Peter Kopčanský, cca 13.000 EUR
- VEGA 2/0077/09 - Vplyv rôznych nanočastíc na štruktúrne prechody vo feronematikách a na dielektrické vlastnosti magnetických kvapalín, 2009 - 2011
zodpovedný riešiteľ: Peter Kopčanský, cca 26.000 EUR
- VEGA 2/7058/27 - Štúdium jadrových efektov v leptón - jadrových interakciách a v zrážkach ťažkých iónov, 2007 - 2009
zodpovedný riešiteľ: Ján Nemčík, cca 7.500 EUR

PROJEKTY

Slovenská vedecká grantová agentúra

- VEGA 2/0092/10 - Dynamika produkcie častíc v hadrónových zrážkach pri vysokých energiách, 2010 - 2013
zodpovedný riešiteľ': Ján Nemčík, cca 5.000 EUR
- VEGA 2/7057/27 - Štúdium nábojového a magnetického usporiadania v korelovaných sústavách elektrónov, 2007 - 2009
zodpovedný riešiteľ': Pavol Farkašovský, cca 12.000 EUR
- VEGA 2/0175/10 - Štúdium korelačných efektov v silne interagujúcich sústavách fermiónov, 2010 - 2012
zodpovedný riešiteľ': Pavol Farkašovský, cca 22.000 EUR

PROJEKTY

Slovenská vedecká grantová agentúra

- VEGA 2/6193/26 - Štúdium korelačných funkcií náhodných polí v stochastických dynamických systémoch, 2006 - 2008

zodpovedný riešiteľ: Michal Hnatič, cca 15.000 EUR

- VEGA 2/0173/09 - Štúdium anomálneho škálovania v v stochastických a turbulentných systémoch s narušenými symetriami, 2009 - 2012

zodpovedný riešiteľ: Michal Hnatič, cca 32.000 EUR

PROJEKTY

Seventh framework programme

- Projekty získané na realizáciu experimentov potvrdenie teoretických predpovedí v oblasti štúdia nanočastíc a ich štruktúr: GHMFL Grenoble, GKSS Research Centre Geesthacht, Germany, HMI Berlin, PSI Villigen, BNC Budapešť, JINR Dubna

PROJEKTY

Agentúra MŠ SR pre štrukturálne fondy EÚ

- **OPVaV-2008/2.1/01-SORO: Výzva 2.1 - Podpora sietí excelentných pracovísk výskumu a vývoja ako pilierov rozvoja regiónu a podpora nadregionálnej spolupráce 262 201 200 21.** Kooperatívne javy a fázové prechody v nanosystémoch s perspektívou využitia v nano- a biotechnológiách.

zodpovedný riešiteľ': Peter Kopčanský, cca 1.160.000 EUR

- **OPVaV-2008/2.1/02-SORO: Výzva 2.1 - Podpora sietí excelentných pracovísk výskumu a vývoja ako pilierov rozvoja regiónu a podpora nadregionálnej spolupráce 262 201 200 33.** Dobudovanie centra pre kooperatívne javy a fázové prechody v nanosystémoch s perspektívou využitia v nano- a biotechnológiách.

zodpovedný riešiteľ': Peter Kopčanský, cca 2.540.000 EUR

PROJEKTY

Agentúra MŠ SR pre štrukturálne fondy EÚ

- **OPVaV-2008/2.2/01-SORO: Výzva 2.2 - Prenos poznatkov a technológií získaných výskumom a vývojom do praxe 262 202 200 05. Vývoj technologických postupov magnetických kvapalín pre biomedicínske aplikácie.**
zodpovedný riešiteľ': Peter Kopčanský, cca 497.000 EUR

Výuka

- prednášky pre PhD. študentov PF UPJŠ -
Kvantovo-štatistické metódy v teórii silne korelovaných systémov
P. Farkašovský
- prednášky na PF UPJŠ -
Teória grup pre fyzikov, 2006 - 2007
Diferenciálna geometria pre fyzikov, 2007 - 2008
Diferenciálna geometria pre fyzikov, 2009 - 2010
Teória grup pre fyzikov, 2009 - 2010
Teória grup a klasifikácia elementárnych častíc, 2009 - 2010
Všeobecná teória relativity, 2008 - 2009
Všeobecná teória relativity, 2010 - 2011
M. Jurčišin

Výuka

- prednášky pre študentov ČVUT, Praha -
Základy kvantové chromodynamiky, 2007-2008,
2008-2009, 2009-2010, 2010-2011
J. Nemčík
- prednášky na PF UPJŠ -
Kvantová teória pol'a
Nerovnovážna štatistická fyzika
M. Hnatič
- prednášky pre PhD. študentov PF UPJŠ -
Úvod do Štandardného modelu
Kvantová chromodynamika
Vybrané kapitoly z teoretickej fyziky
Kvantová teória pol'a
M. Hnatič

Výstupy do spoločenskej praxe

- **M. Jurčšin**

Člen vedeckej rady Laboratória teoretickej fyziky SÚJV
Dubna (2007 - 2008)

- **M. Jurčšin, P. Kopčanský**

Členovia komisie VEGA

- **M. Hnatič**

Člen pracovnej skupiny Rady pre prírodné vedy APVV

Člen výboru pre spoluprácu SR s SÚJV Dubna

Člen komisie pre obhajobu doktorandských prác v
odboroch - **Jadrová a subjadrová fyzika a Všeobecná a
matematická fyzika**

Spolugarant doktorandského štúdia - **Všeobecná a
matematická fyzika na ÚEF**

Výstupy do spoločenskej praxe

P. Kopčanský

Podpredseda kolégia pre matematiku, fyziku a informatiku
Člen International committee for research of magnetic fluids

P. Farkašovský

Člen komisie pre obhajobu doktorandských prác v odbore -
Všeobecná a matematická fyzika



Popularizácia

ROK OTVORENÝCH DVERÍ

- možnosť každodenných konzultácií - široké spektrum fyzikálnych oblastí
- vyjadrenie stanoviska a posudzovanie fyzikálnych projektov a nových myšlienok prichádzajúcich od subjektov mimo fyzikálnej komunity
- prednášky na gymnáziu v Snine - P. Kopčanský
- prednáška - Magnetické kvapaliny - v rámci popularizačného projektu APVV-LPP-0200-07, 10. júna 2009 - P. Kopčanský
- prednášky na gymnáziu v Humennom - M. Hnatič

Infraštruktúra

- PC klaster zakúpený z prostriedkov ŠF EÚ (Extrem I).
Výpočtová kapacita: dvadsať osemvláknových PC s
taktovacou frekvenciou 2.66GHz a s pamäťou 20 TB.
Prevádzka klastra je plne hrazená z VEGA projektu.
Pôvodná "mokrú" miestnosť určenú na klaster bola
prebudovaná svojpomocne z VEGA prostriedkov.

Infraštruktúra

