

**Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
a Slovenskej akadémie vied**

ZÁVEREČNÁ SPRÁVA ZA CELÚ DOBU RIEŠENIA PROJEKTU

(Správa sa predkladá v jednom exemplári v stanovenom termíne príslušnému správcovi agendy VEGA)

Úradné záznamy
<u>Záznamy VEGA</u>

Vypĺňa vedúci projektu

Komisia VEGA, v ktorej bol projekt hodnotený: 1. Komisia VEGA pre matematické vedy, počítačové a informatické vedy a fyzikálne vedy		Číslo projektu: 2/0070/09
Názov projektu: Štruktúra vákua a neporuchové javy v kalibračných teóriách		
Kľúčové slová: kalibračné teórie, kvantová chromodynamika na mriežke, kvantová teória na svetelnom fronte, štruktúra vákua, uväznenie kvarkov, narušenie symetrií		
Skutočná doba riešenia projektu	od 01/2009	do 12/2012
VEDÚCI PROJEKTU	od 01/2009	do 12/2012
Priezvisko, meno, tituly: Olejník Štefan, RNDr., DrSc.		
Pracovisko (názov, adresa): Fyzikálny ústav SAV Dúbravská cesta 9 845 11 Bratislava		
IČO 00166537	Druh organizácie	PO
Priezvisko, meno, tituly (predchádzajúci vedúci):	Názov a adresa pracoviska:	
Vyhlasujem, že všetky uvádzané údaje v tejto správe sú správne		
Dátum Podpis vedúceho projektu		

Výsledky získané za celú dobu riešenia projektu. Prehľad iných výsledkov a ocenení, ktoré sa získali pri riešení projektu

V ťažiskových výskumných smeroch projektu boli získané nasledujúce výsledky (čísla v hranatých zátvorkách odkazujú na položky v zozname publikácií):

1. Štúdium vákuu kvantovej chromodynamiky a neporuchových javov na mriežke:

- Nedávno sme navrhli približný tvar vlnového funkcionálu základného stavu kvantovej chromodynamiky (QCD) v temporálnej kalibrácii v (2+1)-rozmernom časopriestore. Uskutočnili sme rozsiahle testy navrhnutého tvaru a získali sme numerickú evidenciu, že je veľmi dobrým priblížením k skutočnému vákuovému vlnovému funkcionálu tejto teórie, a to jednak výpočtom veličín, ktoré úzko súvisia s mechanizmom uväznenia v coulombovskej kalibrácii [1.3,3.2,3.6], a tiež priamym výpočtom pravdepodobností rôznych konfigurácií kalibračných polí vo vákuu QCD [1.5,3.2,3.8].

- Predbežné výsledky pre analogický tvar vlnového funkcionálu sú sľubné aj v prípade (3+1) rozmerov. Boli uverejnené zatiaľ v konferenčnom príspevku [3.10].

- Preskúmali sme štruktúru gluónovej retiazky medzi statickým kvarkom a antikvarkom v coulombovskej kalibrácii. Ukázali sme, že pri zahrnutí príspevkov stavov s jedným a dvoma konštituentnými gluónmi sa modelový potenciál medzi kvarkom a antikvarkom blíži k známemu štandardnému asymptotickému tvaru potenciálu [1.2,3.5].

- Vyšetrovali sme vlastnosti kalibračných teórií v tzv. lambda-kalibráciách, ktoré interpolujú medzi landauovskou a coulombovskou kalibráciou. Určili sme propagátory gluónov a duchov a farebný coulombovský potenciál v 3 a 4 časopriestorových rozmeroch s dôrazom na oblasť nízkych a stredných hybností a demonštrovali ich spojité správanie v závislosti od kalibračného parametra lambda (okrem nulových hybností) [1.7].

- Uskutočnili sme výpočty správania tzv. torelónu v pridruženej reprezentácii, ktorý je senzitívny na prítomnosť farebných elektrických prúdových trubíc, pri fázovom prechode z hadrónovej fázy do fázy kvarkovo-gluónovej plazmy. V simuláciách mriežkovej teórie metódou Monte Carlo sme ukázali [1.6], že táto veličina má výrazný pík pri kritickkej teplote fázového prechodu, ostáva výrazne väčšia ako jej vákuová hodnota v určitom intervale teplôt a klesá pod vákuovú hodnotu pri teplote zhruba dvakrát tak veľkej, ako je kritická teplota. Vyslovili sme hypotézu, že dlhé elektrické prúdové trubice existujú v konečnom intervale nad kritickou teplotou a až potom vymiznú, pravdepodobne sa rozpustia v plazme gluónov.

- Venovali sme sa aj tzv. znamienkovému problému mriežkovej QCD pri konečnom chemickom potenciáli, čo je veľmi dôležitá prekážka pri neporuchovom skúmaní fázovej štruktúry silno-interagujúcej hmoty. V práci [1.1] sme skúmali strednú hodnotu fázy fermiónového determinantu pre wilsonovské mriežkové fermióny s chemickým potenciálom, analyzovali úlohu hmotností kvarkov, teploty, objemu a rôznych topologických sektorov a porovnali numerické výsledky s predpoveďami chirálnej poruchovej teórie. V práci [1.4] a konferenčnom príspevku [3.3] boli zas analyzované tzv. kánonické fermiónové determinanty, t.j. fermiónové determinanty projektované do sektorov s fixovaným počtom kvarkov. Boli diskutované fyzikálne dôsledky zaujímavého správania kánonických fermiónových determinantov vo fáze bez uväznenia kvarkov.

- V pozvanej prehľadovej prednáške [3.1] sme prezentovali model štruktúry vákuu kalibračných teórií, spoločný pre teórie s kalibračnými grupami SU(N) a G(2), hypotézu tzv. casimirovského škálovania potenciálov medzi kvarkami a antikvarkami z rôznych reprezentácií kalibračnej grupy a evidenciu pre toto škálovanie v prípade grupy G(2).

2. Neporuchové aspekty modelov teórie poľa kvantovaných v premenných svetelného frontu:

Zaujímavou témou, doteraz len málo študovanou a slabo pochopenou, je otázka vzťahu zvyčajnej (space-like, SL) a light-front (LF) teórie poľa. Aj keď obe verzie sú v princípe rovnocenné a mali by dávať zhodné fyzikálne predpovede, ich štruktúra (matematický jazyk, počet dynamicky nezávislých poľných premenných, status základného stavu, charakter poľných rovníc, počet dynamických a kinematických generátorov Poincarého grupy a pod.) je rozdielna. Navyše aj štruktúra SL a LF hamiltoniánov je v prípade niektorých modelov rozdielna, čo spolu s odlišným charakterom vákuového stavu vedie k možnosti rozdielných predpovedí, čo indikuje potenciálnu nekonzistentnosť vo formalizme. Ako cieľ sme si stanovili pochopiť vzťah oboch verzií teórie poľa na úrovni presne riešiteľných modelov (2-rozmerných teórií poľa, v ktorých sa dá nájsť riešenie poľných rovníc v uzavretom, neaproximatívnom tvare) a kriticky analyzovať niektoré známe riešenia SL modelov v hamiltonovskej verzii s dôrazom na hľadanie presného základného stavu. Venovali sme sa štúdiu (nehmotného) SL Schwingerovho modelu, Thirringovho, Thirring-Wessovho a Federbushovho modelu. Uskutočnili sme ich systematickú hamiltonovskú analýzu z jednotného hľadiska. Hlavné výsledky sú nasledujúce:

- Našli sme konzistentné operátorové riešenie Schwingerovho modelu v Landauovej kalibrácii pomocou polí, prítomných v pôvodnom lagranžiáne [na rozdiel od metódy ansatzov v práci Lowensteina a Swiecu, Ann. Phys. 68 (1971) 172]. Toto nám umožnilo analyzovať detaily zvyškovej kalibračnej invariantnosti v kovariantnej kalibrácii, správne definovať kalibračne-invariantné prúdy a následne odvodiť korektnú podobu axiálnej anomálie a Schwingerovho mechanizmu generácie nenulovej hmotnosti kalibračného bozónu v modeli [1.8, 2.2]. Dôležitú úlohu tu hral nulový mód kalibračného poľa a regularizácia súčiny fermiónových operátorov metódou "point-splittingu". Našli sme ďalej operátorové riešenie a axiálnu anomáliu v príbuznom Thirring-Wessovom modeli [1.8, 2.2].

- V Thirringovom modeli sme metódou Bogoliubovovej transformácie odvodili exaktné fyzikálne vákuum v tvare koherentného stavu kompozitných bozónových operátorov bilineárnych v pôvodných fermiónových Fockových operátoroch [1.9, 2.1, 3.7, 3.9] a zovšeobecnil sme známe Klaiberovo riešenie modelu [2.1].

- Ukázali sme, že pre získanie kompatibilnej SL a LF kvantovej dynamiky je nutné preformulovať kánonický formalizmus zohľadnením informácie o operátorových riešeniach príslušných poľných rovníc, čo je ekvivalentné prepísaniu pôvodných lagranžiánov pomocou voľných polí, ktoré reprezentujú skutočné stupne voľnosti v Thirringovom modeli, v modeli s

Výsledky získané za celú dobu riešenia projektu. Prehľad iných výsledkov a ocenení, ktoré sa získali pri riešení projektu

derivatívnou väzbou (DCM) a vo Federbushovom modeli [1.9, 2.1, 3.7].

- Na príklade DCM sme detailne ilustrovali, že modifikovaný kánonický formalizmus vedie k zhodnej SL a LF dynamike, čím koriguje zvyčajný formalizmus ([2.1] a pripravovaný rukopis Ľ. Martinovič: Light-front versus conventional field theory: a hamiltonian study of the derivative-coupling model, ktorý plánujeme zaslať do časopisu Phys. Rev. D).

Publikované výsledky majú solídny citačný ohlas, doteraz boli citované 31-krát (podľa časticovej databázy INSPIRE, <http://inspirehep.net>). Najcitovanejšia bola doteraz práca [1.4] s 9 citáciami. Počty citácií jednotlivých článkov sú uvedené v zozname publikácií na str. 4.

V rámci tohto a predchádzajúceho projektu VEGA vznikla dizertačná práca Ľ. Liptáka [1.10]. Bola odmenená Cenou Václava Votrubu za rok 2009 za najlepšiu dizertačnú prácu v odbore teoretická fyzika, ktorú udeľuje Dopplerov inštitút pre matematickú fyziku a aplikovanú matematiku v Prahe.

O výsledkoch referovali riešitelia grantu a zahraniční spolupracovníci na medzinárodných konferenciách (pozri [1.8,1.9,2.2,3.1-3.10]). Š. Olejník predniesol pozvané prednášky na konferenciách QCD-TNT v Trente (2009) [3.1], Erwin Schrodinger Symposium 2009 v Prahe a The Many Faces of QCD v Gente (2011) [3.2].

Výsledky projektu sme predstavili aj na viacerých seminároch doma a v zahraničí. Niektoré boli určené aj pre širšiu odbornú verejnosť (napr. na FJFI ČVUT v Prahe, ÚEF SAV v Košiciach a FEI STU v Bratislave). Projekt má tiež pravidelne aktualizovanú webovskú stránku http://dcps.sav.sk/olejnik/projects/v_0070_09.

Zhodnotenie splnenia vedeckých cieľov projektu

Základným cieľom projektu bolo prispieť k chápaniu štruktúry vákua v neabelovských kalibračných teóriách a jej dôsledkov pre fyziku silných interakcií a publikovať dosiahnuté výsledky v uznávaných vedeckých časopisoch. Výskum sa sústredil na dve základné oblasti:

1. štúdium vákua QCD a neporuchových javov na mriežke a
2. neporuchové aspekty modelov teórie poľa kvantovaných v premenných svetelného frontu.

Rámcové ciele boli splnené, boli dosiahnuté a publikované zaujímavé výsledky, majú solídny citačný ohlas a predstavujú pokrok v daných oblastiach. Niektoré partikulárne otázky, spomínané v návrhu projektu, boli s ohľadom na výsledky výskumu iných skupín upresnené, modifikované alebo nahradené aktuálnejšími.

Anotácia originálnych výsledkov riešenia projektu (*anotácia výsledku môže byť použitá na publikovanie*)

Projekt priniesol poznatky, ktoré boli publikované v časopisoch s vysokým impaktom a majú primeraný citačný ohlas. Výsledky sú heslovite:

1. Evidencia v prospech približného tvaru vlnového funkcionálu vákua QCD. – Preskúmanie štruktúry gluónovej reťazky medzi statickým kvarkom a antikvarkom. – Predpoveď správania tzv. torelónu v pridruženej reprezentácii pri fázovom prechode QCD a jeho fyzikálne dôsledky. – Závislosť vlastností kalibračných teórií od parametra λ v tzv. λ -kalibráciách. – Príspevky k riešeniu znamienkového problému v mriežkovej QCD pri nenulovom chemickom potenciáli.
2. Nové operátorové riešenie Thirring-Wessovho a Schwingerovho modelu, správna verzia ich axiálnych anomálií a mechanizmu generácie hmotnosti kalibračného bozónu. – Odvodenie vákua Thirringovho modelu ako koherentného stavu kompozitných bozónových operátorov. – Demonštrovanie konzistentnosti SL a LF kvantovej dynamiky vo Federbushovom modeli a modeli s derivatívnou väzbou preformulovaním teórie pomocou voľných polí.

Anotácia originálnych výsledkov riešenia projektu (*v anglickom jazyku*)

The project brought results, which were published in high-impact journals and have considerable citation response. Summarized in headlines they are:

1. Evidence in favour of the approximate form of the vacuum wave functional of QCD. – Results on the structure of the gluon chain between a static quark and antiquark. – Prediction of the behaviour of torelon in adjoint representation at the QCD phase transition and its consequences. – Dependence of properties of gauge theories on the parameter λ in λ -gauges. – Contributions to solution of the sign problem of lattice QCD at nonzero chemical potential.
2. New operator solution of Thirring-Wess and Schwinger model, and correct form of axial anomalies and of the mechanism of gauge boson mass generation. – True physical vacuum of Thirring model as coherent state of composite boson operators. – Demonstration of consistency between SL and LF dynamics in the Federbush and derivative-coupling models by reformulating them in terms of the free fields.

Maximálny rozsah je daný predtlačou

Využitelnosť získaných výsledkov v aplikovanom výskume alebo v praxi a v akom smere

Projekt spadá do oblasti základného výskumu a jeho výsledky nemajú priame uplatnenie v aplikovanom výskume alebo v praxi. Dosiahnuté výsledky a získané skúsenosti budú využité pri formulovaní ďalších projektov základného výskumu jeho riešiteľov.

ZOZNAM PUBLIKÁCIÍ, KTORÉ VZNIKLI NA ZÁKLADE VÝSLEDKOV PROJEKTU
Pred spracovaním pozrite pokyny.

- a) Zoznam publikovaných prác v členení uvedenom v pokynoch na vyplnenie a s uvedením podielu problematiky
- b) Zoznam prác odovzdaných do tlače v roku 2012 (v členení ako v bode a/)
- c) Zoznam publikácií v zborníkoch a abstraktov referátov prednesených na vedeckých podujatiach uverejnených v zborníkoch z konferencií v členení uvedenom v pokynoch na vyplnenie
- d) Zoznam patentov (názov a číslo)

X X X X X

- a) Zoznam publikovaných prác v členení uvedenom v pokynoch na vyplnenie a s uvedením podielu problematiky:

ADC - Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch:

=====

[1.1] J. Danzer, C. Gattringer, L. Liptak, M. Marinkovic, A study of the sign problem for lattice QCD with chemical potential, *Physics Letters B* 682 (2009) 240-245 [podiel: 1.0] - viď priložený súbor "plb682(2009)240.pdf". Práca bola doteraz 6-krát citovaná (podľa časticovej databázy INSPIRE, <http://inspirehep.net>).

[1.2] J. Greensite, Š. Olejník, Constituent gluon content of the static quark-antiquark state in Coulomb gauge, *Phys. Rev. D* 79 (2009) 114501, 7 str. [podiel: 1.0] - viď priložený súbor "prd79(2009)114501.pdf". Práca bola doteraz 6-krát citovaná.

[1.3] J. Greensite, Š. Olejník, Coulomb confinement from the Yang-Mills vacuum state in 2+1 dimensions, *Phys. Rev. D* 81 (2010) 074504, 8 str. [podiel: 1.0] - viď priložený súbor "prd81(2010)074504.pdf". Práca bola doteraz 3-krát citovaná.

[1.4] E. Bilgici, J. Danzer, C. Gattringer, C. B. Lang, L. Liptak, Canonical fermion determinants in lattice QCD - Numerical evaluation and properties, *Phys. Lett. B* 697 (2011) 85-89 [podiel: 1.0] - viď priložený súbor "plb697(2011)85.pdf". Práca bola doteraz 9-krát citovaná.

[1.5] J. Greensite, H. Matevosyan, Š. Olejník, M. Quandt, H. Reinhardt, A. P. Szczepaniak, Testing proposals for the Yang-Mills vacuum wavefunctional by measurement of the vacuum, *Phys. Rev. D* 83 (2011) 114509, 20 str. [podiel: 1.0] - viď priložený súbor "prd83(2011)114509.pdf".

[1.6] J. Greensite, Š. Olejník, Adjoint torelons, and the persistence of color electric flux tubes in the deconfined phase, *Phys. Rev. D* 84 (2011) 014506, 7 str. [podiel: 1.0] - viď priložený súbor "prd84(2011)014506.pdf".

[1.7] A. Maas, T. Mendes, Š. Olejník, Yang-Mills theory in lambda gauges, *Phys. Rev. D* 84 (2011) 114501, 18 str. [podiel: 1.0] - viď priložený súbor "prd84(2011)114501.pdf". Práca bola doteraz 2-krát citovaná.

[1.8] Ľ. Martinovič, Exactly solvable models and spontaneous symmetry breaking, *Few Body Syst.* 52 (2012) 449-455 [podiel: 1.0] - viď priložený súbor "fbs52(2012)449.pdf".

ADE - Vedecké práce v zahraničných nekarentovaných časopisoch:

=====

[1.9] Ľ. Martinovič, Physical vacuum of the Thirring and derivative coupling models, *Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.)* 199 (2010) 147-152 [podiel: 1.0] - viď priložený súbor "npb(ps)199(2010)147.pdf". (Nedopatrením tento článok ďakuje predchádzajúcemu grantu VEGA.)

DAI - Kvalifikačné práce (dizertačné, habilitačné, atestačné...):

=====

[1.10] Ľ. Lipták, Aspects of thermodynamics and confinement in the lattice formulation of QCD, PhD thesis, Institute of Physics, Slovak Acad. Sci., Bratislava (2009), 133 str. [podiel: 0.5] - viď priložený súbor "Liptak_PhD_praca.pdf".

- b) Zoznam prác odovzdaných do tlače v roku 2012 (v členení ako v bode a/):

AFI - Preprinty vedeckých prác vydané v zahraničných vydavateľstvách:

=====

[2.1] Ľ. Martinovič, P. Grangé, Hamiltonian formulation of exactly solvable models and their physical vacuum states,

ZOZNAM PUBLIKÁCIÍ, KTORÉ VZNIKLI NA ZÁKLADE VÝSLEDKOV PROJEKTU
Pred spracovaním pozrite pokyny.

- a) Zoznam publikovaných prác v členení uvedenom v pokynoch na vyplnenie a s uvedením podielu problematiky
- b) Zoznam prác odovzdaných do tlače v roku 2012 (v členení ako v bode a/)
- c) Zoznam publikácií v zborníkoch a abstraktov referátov prednesených na vedeckých podujatiach uverejnených v zborníkoch z konferencií v členení uvedenom v pokynoch na vyplnenie
- d) Zoznam patentov (názov a číslo)

X X X X X

arXiv:1111.6344 [hep-th] (2011), 5 str., zaslané na uverejnenie do Phys. Lett. B [podiel: 1.0] - vid' priložený súbor "1111.6344v1.pdf".

[2.2] Ľ. Martinovič, New operator solution of the Schwinger model in a covariant gauge and axial anomaly, arXiv:1212.6449 [hep-th] (2012), 6 str., zaslané na uverejnenie do Acta Phys. Pol. B [podiel: 1.0] - vid' priložený súbor "1212.6449.pdf".

c) Zoznam publikácií v zborníkoch a abstraktov referátov prednesených na vedeckých podujatiach uverejnených v zborníkoch z konferencií v členení uvedenom v pokynoch na vyplnenie:

AFA - Publikované pozvané referáty na zahraničných vedeckých konferenciách:

=====

[3.1] Š. Olejník, Vacuum structure and Casimir scaling in Yang-Mills theories, Proceedings of Science, PoS (QCD-TNT09)032 (2009), 12 str. [podiel: 1.0] - vid' priložený súbor "QCD-TNT09_032.pdf".

[3.2] J. Greensite, Š. Olejník, In quest of the Yang-Mills wave functional, Proceedings of Science, PoS (FacesQCD)027 (2011), 10 str. [podiel: 1.0] - vid' priložený súbor "FacesQCD_027.pdf".

AFC - Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách:

=====

[3.3] J. Danzer, C. Gatttringer, L. Liptak, Properties of canonical fermion determinants with a fixed quark number, Proceedings of Science, PoS (LAT2009)185 (2009), 7 str. [podiel: 1.0] - vid' priložený súbor "LAT2009_185.pdf". (Obsahuje iba poďakovanie grantovej agentúre, ktorá podporila prednášajúcu, J.D.) Práca bola doteraz 4-krát citovaná.

[3.4] M. Faber, J. Greensite, U. M. Heller, R. Höllwieser, Š. Olejník, Center vortices and Dirac eigenmodes, in: Proceedings of the International School-seminar "New Physics and Quantum Chromodynamics at External Conditions" (Dnipropetrovsk, Ukraine, May 3-6, 2009) 115-118 [podiel: 1.0] - vid' priložený súbor "NPQCD2009.pdf". (Obsahuje iba poďakovanie grantovej agentúre, ktorá podporila prednášajúceho, R.H.)

[3.5] J. Greensite, Š. Olejník, Gluon chains and the quark-antiquark potential, Proceedings of Science, PoS (LAT2009)240 (2009), 8 str. [podiel: 1.0] - vid' priložený súbor "LAT2009_240.pdf". Práca bola doteraz 1-krát citovaná.

[3.6] J. Greensite, Š. Olejník, The QCD vacuum wave-functional and confinement in Coulomb gauge, Proceedings of Science, PoS (Lattice 2010)282 (2010), 7 str. [podiel: 1.0] - vid' priložený súbor "Lattice2010_282.pdf".

[3.7] Ľ. Martinovič, A systematic hamiltonian analysis of exacte solvable models and their vacuum structure, Proceedings of Science, PoS (LC2010)025 (2010), 8 str. [podiel: 1.0] - vid' priložený súbor "LC2010_025.pdf".

[3.8] J. Greensite, Š. Olejník, Properties of the approximate Yang-Mills ground-state wave functional in 2+1 dimensions, in: The IX International Conference on Quark Confinement and the Hadron Spectrum, ed. F. J. Llanes-Estrada, J. R. Pelaez (AIP Conference Proceedings 1343, Melville, NY, 2011) 203-205 [podiel: 1.0] - vid' priložený súbor "QCHSIX.pdf".

[3.9] Ľ. Martinovič, Hamiltonians and physical vacua of exactly solvable models, in: HSQCD 2010, ed. V. T. Kim, L. N. Lipatov (PNPI, Gatchina, St. Petersburg, Russia, 2011) 147-153 [podiel: 1.0] - vid' priložený súbor "HSQCD_2010.pdf".

[3.10] J. Greensite, Š. Olejník, Testing the Yang-Mills vacuum wave functional Ansatz in 3+1 dimensions, Proceedings of Science, PoS (Confinement X)054 (2013), 8 str. [podiel: 0.5] - vid' priložený súbor "ConfinementX_054.pdf".

ZOZNAM PUBLIKÁCIÍ, KTORÉ VZNIKLI NA ZÁKLADE VÝSLEDKOV PROJEKTU
Pred spracovaním pozrite pokyny.

- a) Zoznam publikovaných prác v členení uvedenom v pokynoch na vyplnenie a s uvedením podielu problematiky
- b) Zoznam prác odovzdaných do tlače v roku 2012 (v členení ako v bode a/)
- c) Zoznam publikácií v zborníkoch a abstraktov referátov prednesených na vedeckých podujatiach uverejnených v zborníkoch z konferencií v členení uvedenom v pokynoch na vyplnenie
- d) Zoznam patentov (názov a číslo)

X X X X X

d) Zoznam patentov (názov a číslo):

Žiadne.

Prehľad riešiteľskej kapacity za celé obdobie riešenia projektu

Priezvisko, meno, tituly	ORGANIZÁCIA uvedte skratku org.	Riešiteľská kapacita v hodinách v jednotlivých rokoch				
		2009	2010	2011	2012	2013
<u>VEDÚCI PROJEKTU:</u> 1. Olejník Štefan, RNDr. DrSc.	FÚ SAV	2000	2000	2000	2000	0
<u>ZÁSTUPCA VEDÚCEHO PROJEKTU:</u> 2. Martinovič Ľubomír, RNDr. CSc.	FÚ SAV	2000	2000	2000	2000	0
<u>SPOLURIEŠITELIA:</u> 3. Lipták Ľudovít, Mgr. PhD	FÚ SAV	1000	167	0	0	0
RIEŠITEL'SKÁ KAPACITA V HODINÁCH SPOLU (spočítajte len kapacitu tvorivých riešiteľov projektu)		5000	4167	4000	4000	0