

FORMULÁR ZS1/2007-2008

Záverečná správa o riešení projektu

Evidenčné číslo projektu: APVT-51-005704

Názov projektu:

Teória silných interakcií subjadrových častíc a fyzikálne javy a procesy na veľkých vzdialenostiach

Meno zodpovedného riešiteľa: RNDr. Štefan Olejník, DrSc.

Organizácia žiadateľa: Fyzikálny ústav SAV

Začiatok riešenia projektu (MM/RR): 01/05

Koniec riešenia projektu (MM/RR): 12/07

v Sk na 2 des. miesta

1	Pridelené finančné prostriedky z APVV za celé obdobie riešenia	1 537 000,00
2	Vyčerpané za celé obdobie riešenia	1 537 000,00
3	Nevyčerpané po skončení riešenia (1-2)	0,00

4	Skutočne čerpané finančné prostriedky z celkových zdrojov vrátane APVV za celé obdobie riešenia <sup>†</sup>	4 551 300,00
5	- z toho Mzdy	2 187 740,00

Potvrdzujeme, že údaje uvedené v správe a jej prílohách sú pravdivé a úplné.

Podpis: .....  
zodpovedný riešiteľ

Podpis: .....  
štatutárny zástupca

Dátum: 21.1.2008  
(opr. 14.10.2008)

Pečiatka

<sup>†</sup> Túto sumu nie je zodpovedný riešiteľ schopný určiť úplne presne, uvedené číslo predstavuje pokus o kvalifikovaný odhad.

Evidenčné číslo projektu: APVT-51-005704

Základné (pravidelne aktualizované) informácie o projekte a o jeho výsledkoch a publikáciách možno nájsť na internetových adresách:

[http://dcps.sav.sk/olejnik/projects/a\\_51\\_005704/](http://dcps.sav.sk/olejnik/projects/a_51_005704/) (v anglickom jazyku),  
[http://dcps.sav.sk/olejnik/projects/a\\_51\\_005704/sk/](http://dcps.sav.sk/olejnik/projects/a_51_005704/sk/) (v slovenskom jazyku).

## **Časť A - Rozbor riešenia projektu**

### **1. Postup prác pri riešení projektu za posledný rok na pracovisku žiadateľa a spoluriešiteľov vzhľadom na harmonogram riešenia projektu**

V návrhu projektu boli hlavné ciele zhrnuté do troch skupín (pozri str. PR104 návrhu). Preto v tejto a ďalších častiach správy zhrnieme postup prác a dosiahnuté výsledky v každej skupine zvlášť. Čísla v hranatých zátvorkách odkazujú na publikácie projektu a iné odborné články a zdroje, ktorých zoznam sa nachádza na konci tejto časti.

#### ***1. Výskum uväznenia kvarkov v kvantovej chromodynamike na mriežke***

V zozname publikácií projektu za rok 2006 bol uvedený ako prijatý do tlače článok [1], v ktorom sme sa zaoberali Yangovou–Millsovou (YM) kalibračnou teóriou s kalibračnou grupou  $G_2$ . Vyšiel vo februári 2007. V roku 2007 sme pokračovali v štúdiu tejto teórie – v spolupráci s nemeckým postdoktorandom vo FÚ SAV A. Maasom – smerom, ktorý sme v pôvodnom projekte nepredvídali, a síce numerickým výpočtom propagátorov gluónov a tzv. „duchov“ v Landauovej kalibrácii, ako aj spektra vlastných stavov tzv. Faddejevovho–Popovovho operátora, v teórii s kalibračnou grupou  $G_2$  v dvoch a troch priestoročasových rozmeroch. Umožnili to bohaté skúsenosti dr. Maasa, ktoré získal na svojom predchádzajúcom postdoktorskom pobyte v Univ. Sao Paulo v Sao Carlos (Brazília). Problém si vyžiadal rozsiahle, časovo náročné numerické simulácie, ktoré si vynútili rozšírenie nášho počítačového klastra. Dosiahnuté výsledky [2] kvalitatívne súhlasia s výsledkami v rámci teórií s kalibračnými grupami  $SU(2)$  a  $SU(3)$  a dokonca aj kvantitatívne rozdiely sú relatívne malé. To naznačuje, že mechanizmus uväznenia gluónov je podobný v teóriách s rôznymi kalibračnými grupami. V súčasnosti ďalší problém v rámci  $G_2$  kalibračnej teórie rieši doktorand Ľ. Lipták, jeho úlohou je určiť strunové napätia medzi farebnými nábojmi z vyšších reprezentácií kalibračnej grupy a overiť tak špecifickú predpoveď modelu vákuovej štruktúry, ktorý bol sformulovaný v práci [1]. Problém však vychádza za rámec cieľov pôvodného APVT projektu; spomíname ho tu iba preto, že je súčasťou projektu dizertácie, ktorý bol načrtnutý v písomnej práci k minimovej skúške Ľ. Liptáka [3], ktorá vznikla a bola obhájená v roku 2007.

Hlavnou témou výskumu v roku 2007 v tejto časti projektu bol problém štruktúry vákuového stavu v YM teórii. Prvé predbežné výsledky sme uverejnili v r. 2006 v preprinte [4], ktorý sme zaslali do sekcie *Rapid Communications* časopisu *Physical Review D*. Posudok jedného recenzenta, v zásade pozitívny, si vyžadoval výrazné rozšírenie článku, ktoré by prekročilo limity sekcie *Rapid Communications*. Preto sme článok prepracovali a doplnili o viaceré nové výsledky. Nová práca [5] bola uverejnená v elektronickom preprintovom archíve a je v súčasnosti v recenznom konaní v časopise *Physical Review D*. Rozpracovali sme v nej podrobne návrh aproximatívneho základného stavu YM kalibračnej teórie, kvantovanej v temporálnej kalibrácii v (2+1)-rozmernom priestoročase. Tento stav spĺňa YM Schrödingerovu rovnicu v limite nulovej väzby, ako aj v limite silných konštantných polí. Návrh obsahuje jediný hmotnostný parameter, pričom k uväzneniu dochádza, ak je tento parameter rôzny od nuly. Vyvinuli sme metódu na numerické simulácie teórie s pravdepodobnostným rozdelením, ktoré zodpovedá tomuto vákuovému stavu a porovnali náš návrh s inými v existujúcej odbornej literatúre. Výsledky boli tiež prezentované v príspevku na konferencii *Lattice 2007*, ktorý vyšiel v zborníku [6]. (Práce [5] a [6] hoci úplne nové, boli doteraz 6-krát citované.)

Rozšírením spektra problémov projektu boli aj práce doktoranda Ľ. Liptáka so školiteľom-konzultantom prof. Gattringerom z Univ. v Grazi, publikovaný článok [7] a príspevok v zborníku [8]. Ich výskum sa týka závažného problému mriežkovej formulácie kvantovej chromodynamiky, a to prípadu, keď môžeme zanedbať hmotnosti

ľahkých kvarkov a teória má dodatočnú, tzv. chirálnu symetriu. Chirálna symetria sa pri mriežkovej regularizácii vždy istým spôsobom narušuje a problém sa stáva vypuklejšim, ak teóriu skúmame pri konečnej hustote hadrónovej hmoty, keď sa objaví tzv. „znamienkový“ problém (sign problem). V prácach Gattringera a Liptáka bola študovaná nedávno navrhnutá nová formulácia tzv. „overlap“ fermiónov pri konečnej teplote na mriežke, založená na analytickom pokračovaní znamienkovej funkcie. Bola určená hustota energie [7] a hodnota operátora počtu častíc [8] pre voľné fermióny ako funkcie chemického potenciálu a teploty a bolo ukázané, že táto formulácia „overlap“ fermiónov s chemickým potenciálom správne reprodukuje známe výsledky zo spojitkej teórie. (Práca [7] už bola raz citovaná.)

## II. Štúdium modelov teórie poľa v premenných svetelného frontu

Článok o verzii Higgsovho mechanizmu v premenných svetelného frontu (LF) [9], ktorý bol v správe za r. 2006 uvedený ako zaslaný do odborného časopisu, bol v r. 2007 na podnet recenzenta časopisu *Modern Physics Letters A* mierne upravený a v tejto podobe bol prijatý na uverejnenie. (Kópia e-mailu o prijatí článku sa nachádza v prílohe.) Výjde v priebehu r. 2008.

Avizovaný prehľadový článok pre časopis *Acta Physica Slovaca* [10] vyšiel v júnovom čísle časopisu. Táto publikácia má obsah a rozsah, ktorý zodpovedá charakteru menšej vedeckej monografie. Jej cieľom bolo poskytnúť pedagogický úvod do kvantovej teórie poľa v premenných svetelného frontu a súčasne prezentovať aj niektoré špecifickejšie témy z jednotného pohľadu, spoločne s viacerými vlastnými originálnymi výsledkami, z ktorých mnohé boli získané v rámci tohto projektu. Hlavný dôraz sme položili na detailné porovnanie dvojrozmerných masívnych fermiónových polí v zvyčajnej space-like (SL) a v light-front (LF) teórii poľa. Poukázali sme na fakt, že LF verzia podstatne zjednodušuje teóriu, pretože nevyžaduje maticový (spinorový) formalizmus, čo je fyzikálne prirodzené, pretože v jednej priestorovej dimenzii nejestvuje spinový stupeň voľnosti. Na konkrétnom príklade presne riešiteľného Federbushovho modelu, popisujúceho interakciu typu prúd-prúd dvoch fermiónových polí s rôznymi hmotnosťami, sme demonštrovali jednoduchosť LF formalizmu. V práci sme ďalej diskutovali splnenie základných vlastností kvantovej teórie poľa v prípade LF verzie teórie (mikrokauzalita, relativistická invariantnosť), ako aj LF verziu viacerých modelov s masívnymi fermiónmi (Schwingerov a Thirringov model). Niektoré z načrtnutých výsledkov v tomto prehľadovom článku boli alebo budú zverejnené v samostatných odborných publikáciách.

Konkrétne, poukázali sme na matematické subtilnosti pri výpočte LF korelačných funkcií voľných masívnych polí v kontinuálnej teórii. Bez matematicky korektnej formulácie týchto korelačných funkcií nie je možné získať zvyčajné tvary komutátorov pri rovnakých časoch ako limitu pre rovnaké LF časy. Dôležitou aplikáciou týchto výsledkov je demonštrovanie, že povrchové členy pri výpočte komutátorov Poincarého generátorov (Poincarého algebra, vyjadrujúca relativistickú invariantnosť daného modelu) sú v skutočnosti exponenciálne potlačené, a nie nenulové, ako sa tvrdilo v staršej literatúre [11]. Tento výsledok podčiarkuje, že LF verzia teórie poľa netrpí vnútornou nekonzistentnosťou. Rukopis príslušnej publikácie [12] je pred dokončením a bude zaslaný na uverejnenie do časopisu *Physical Review D*. Táto téma nebola uvedená v pláne na rok 2007, ale vyplynula ako dôsledok štúdia iných príbuzných problémov LF teórie.

Masívne fermiónové polia a operátorové riešenia pohybových rovníc Federbushovho modelu sme ďalej využili na analýzu korelačných funkcií tejto presne riešiteľnej teórie. Našli sme podstatné rozdiely v tvare týchto funkcií medzi ich LF a SL verziami. Skúmali sme predpoklad, že dôvodom rozdielu je počítanie korelačných funkcií vo zvyčajnej SL teórii pri použití Fockovho vákuua, ktoré však nie je vlastným stavom SL hamiltoniánu a preto v skutočnosti nereprezentuje správny fyzikálny základný stav. Na druhej strane, LF Fockovo vákuum je v prípade Federbushovho modelu súčasne skutočným základným stavom. Správny prístup v SL prípade je diagonalizáciou hamiltoniánu pomocou Bogoljubovovej transformácie nájsť skutočný základný stav a korelačné funkcie počítať ako stredné hodnoty v tomto stave. Keďže sa nám zatiaľ správny tvar Bogoljubovovej transformácie pre masívne polia nepodarilo nájsť, testovali sme postup na nehmotných teóriách -- Thirringovom modeli a modeli s gradientnou väzbou, konštruujú Bogoljubovovu transformáciu podľa vzoru klasickej práce Mattisa a Lieba [13] z oblasti fyziky pevnej fázy. Predbežné výsledky sme prezentovali na *Light-Cone Workshope* v Séte (Francúzsko). Rukopis publikácie je rozpracovaný. Hlavným cieľom tejto pôvodne neplánovanej výskumnej témy je na príklade presne riešiteľných dvojrozmerných relativistických modelov nájsť neporuchovou cestou hlbšiu súvislosť resp. štruktúrne rozdiely medzi zvyčajnou SL a LF teóriou poľa.

Dokončuje sa tiež rukopis plánovanej práce, venovanej vákuovým a iným kvantovým aspektom LF SU(2) teórie s dynamickými fermiónmi vo fundamentálnej a pridruženej reprezentácii [14]. Očakávame, že bude zaslaný na

publikovanie v 1. štvrtroku 2008. Novým prvkom v práci oproti publikovaným výsledkom iných autorov je nenulová hmotnosť fermiónových polí a implementácia reziduálnych symetrií pomocou unitárnych operátorov. Bola získaná Fockova reprezentácia fermiónového vákuua vedúca k nenulovej hodnote vákuového kondenzátu. Po posledných úpravách rukopisu bude práca koncom januára 2008 odoslaná na uverejnenie a bude obsahovať poďakovanie za podporu APVT grantu.

Článok [15], ktorý sa zaoberá spontánnym narušením symetrie pre LF skalárne teórie a ktorého dokončenie bolo ohlásené v správe za r. 2006, bol 15.1.2008 zaslaný na uverejnenie do časopisu Physical Review D.

### III. Fenomenologické aplikácie efektívnych teórií poľa

V tejto časti projektu bola dokončená práca na analýze založenej na dopredných disperzných vzťahoch. Kvôli veľkej počítačovej náročnosti a povahe analýzy (iterácia vzhľadom na výber vhodnej vnútorne konzistentnej experimentálnej databázy z veľkého množstva experimentálnych dát), trvalo určenie výslednej hodnoty pión-nukleónového  $\Sigma$ -člena touto metódikou pomerne dlho.

Výsledok bol testovaný na citlivosť vzhľadom na rôzne parametre, ktoré v analýze vystupujú. Ukázalo sa, že riešenie je stabilné vzhľadom na parametre vstupujúce do analýzy čisto cez numerické metódy resp. ako dôsledok výberu konkrétnych energií v analýze. Správnosť analýzy bola v istom zmysle nepriamo testovaná aj tým, že konečná databáza (výsledok spomínaného iteračného procesu) súhlasí s inými prácami, ktoré sa doteraz zaoberali vnútornou konzistentnosťou medzi dátami diferenciálneho účinného prierezu pión-nukleónového rozptylu pri nízkych energiách.

Ukázalo sa, že zahrnutie najnovších nízkoenergetických dát a výsledkov novej analýzy v oblasti stredných energií vedie k hodnotám  $\Sigma$ -člena v súlade s očakávaním. Na druhej strane, okrem hodnoty pión-nukleónového  $\Sigma$ -člena dostávame na výstupe analýzy aj ďalšie výsledky, ktorými sú tzv. rozptylové dĺžky, normalizačné parametre pre jednotlivé dátové súbory a parciálne S- a P-vlny v nízkoenergetickej oblasti, z ktorých jeden (konkrétne rozptylová dĺžka) predstavuje dávno známy problém.

O tomto parametri totiž máme nezávislú informáciu z experimentov s piónovými atómami a táto informácia sa nezhoduje s hodnotou, ktorú získavame na výstupe našej analýzy (a všetkých ďalších analýz dát z pión-nukleónového rozptylu, ktoré ponechávajú túto rozptylovú dĺžku ako voľný parameter). Preto bolo nutné v analýze pokračovať aj nad predbežný plán a testovať výsledky analýzy pozmenenej o rôzne fixované hodnoty spomínanej rozptylovej dĺžky. Pri postupnej zmene rozptylovej dĺžky k hodnotám preferovaným piónovým vodíkom a deutériom došlo k výraznému zhoršeniu nášho fitu rozptylových dát a súčasne k nárastu hodnoty  $\Sigma$ -člena do nefyzikálnych hodnôt.

Táto predbežná analýza ukázala, že experimentálna situácia v nízkoenergetickej pión-nukleónovej fyzike je ešte stále značne kontroverzná. Použitie Royových rovníc môže za priaznivých okolností pomôcť niektoré nejasnosti odstrániť, ale nie je vylúčené, že aj ich riešenie bude trpieť spomínanými kontroverziami.

V programe pre riešenie Royových rovníc, ktoré kombinujú informácie z s-, u- a t-kanála, bola dokončená práca na s- a u-kanáli. Počas programovania boli priebežne testované rôzne obmedzené (na s- a u-kanál) verzie týchto rovníc. Zahrnutie t-kanála a skutočné riešenie úplných rovníc je plánom pre najbližšiu budúcnosť.

### Doplňujúce informácie o riešení projektu

Prezentácia výsledkov na konferenciách: Výsledky projektu prezentoval Š. Olejník v prednáške na workshope *The Many Faces of Quantum Fields* v Leidene (Holandsko), kde bol jedným zo 16 pozvaných prednášateľov (medzi nimi bol aj laureát Nobelovej ceny za fyziku G. 't Hooft), boli tiež prezentované v príspevku na konferencii *Lattice 2007* v Regensburgu (Nemecko) [6]. Doktorand Ľ. Lipták mal tiež príspevok na tejto konferencii [8]. Ľ. Martinovič výsledky predniesol na *Light-Cone Workshope* v Séte (Francúzsko). M. Mojžiš predniesol sériu prednášok na Letnej škole z fyziky vysokých energií v Svite (Slovensko), organizovanej v rámci projektu CEPOŠ s podporou Európskeho sociálneho fondu.

Medzinárodná spolupráca: Riešitelia projektu majú pomerne široké medzinárodné kontakty a neformálne spolupráce. Na doterajších publikáciách v rámci projektu boli spoluautormi pracovníci z USA (New York Univ., San Francisco State Univ.), z Nemecka (Univerzity v Tübingene a Mníchove), z Veľkej Británie (Plymouth Univ.), z Francúzska (Montpellier Univ.), z Ruska (ITEF v Moskve) a Rakúska (Univ. Graz). Aktívna výmena skúseností

a výsledkov a časté konzultácie prebiehajú aj s ďalšími pracovníkmi v Rakúsku (TU vo Viedni), vo Švajčiarsku (CERN) a na ďalších pracoviskách v USA (Iowa State Univ.).

Na kontakty so zahraničnými spolupracovníkmi sme využili aj účasť na konferencii *Lattice 2007* v Regensburgu a na *Light-Cone Workshope* v Séte, na ktorých participovalo viacero z nich.

L. Martinovič uskutočnil dva pracovné pobyty s čiastočnou podporou grantu (na Univ. v Montpellieri a v CERN v Ženeve), kde spolupracoval s prof. Grangé resp. s dr. Ilievou-Litovou. Výsledky boli resp. ešte budú publikované (pozri [9] a [12]).

Z prostriedkov grantu boli tiež hradené náklady spojené s krátkymi návštevami 4 zahraničných odborníkov vo FÚ SAV (prof. R. Alkofera a prof. Ch. Gatttringera z Univerzity v Grazi, prof. D. Zwanzigera z Univ. v New Yorku, a prof. J. Greensita zo San Francisco State Univ.). So všetkými sme diskutovali o výsledkoch a témach na spoluprácu a konzultovali problémové okruhy projektu. Prof. Zwanziger a prof. Gatttringer predniesli vo FÚ SAV odborné prednášky, ktoré mali priaznivú odozvu. Výsledkom konzultácií a spolupráce s prof. Gatttringerom boli dve publikácie doktoranda Liptáka ([7] a [8]).

Rok 2007 strávil vo Fyzikálnom ústave SAV ako postdoktorand dr. Axel Maas. Jeho pobyt bol plne hradený štipendiom Nemeckej výskumnej spoločnosti (Deutsche Forschungsgemeinschaft) a spolupracoval so Š. Olejníkom na jednej z tém tohto projektu [2]. Výsledky predniesol na viacerých konferenciách (zimná škola v Schladmingu, workshop v Trente) a na seminároch v zahraničí (Univ. Heidelberg, Univ. Graz, Humboldtova univ. v Berlíne).

## 2. Rozbor výsledkov riešenia vzhľadom na stanovené ciele

Znovu po jednotlivých tematických okruhoch projektu:

### I. Výskum uväznenia kvarkov v kvantovej chromodynamike na mriežke

Cieľ na rok 2007 bol v „Upresnení harmonogramu prác a cieľov na rok 2007“ (formulár RS1/2006) stanovené takto (citujeme v skrátenej forme):

1. štúdium štruktúry vákuového stavu v Yangovej-Millsovej teórii, skúmanie, do akej miery približný vlnový funkcionál základného stavu, ktorý sme nedávno navrhli, odráža vlastnosti (doteraz neznámeho) presného základného stavu; preskúmanie ďalších dôsledkov nášho priblíženia a možností jeho systematického vylepšenia.

Ako vyplýva zo súhrnu výsledkov v časti A.1, cieľ tejto etapy bol splnený, dokonca bola do ďalších – pôvodne neplánovaných – dôsledkov dovedená problematika z 2. etapy (výskum vlastností YM kalibračnej teórie s kalibračnou grupou  $G_2$ , pozri [2], a rozpracovaná bola s projektom súvisiaca nová téma (formulácia teórie s chirálnou symetriou pri konečnej hustote [7]).

### II. Štúdium modelov teórie poľa v premenných svetelného frontu

Ciele na rok 2007 boli (skrátené):

1. dokončenie výpočtov a rukopisu práce o neabelovskej dvojdimenzionálnej LF teórii s dynamickými fermiónmi,
2. analýza vákuovej štruktúry a iných kvantových vlastností (2+1)-rozmernej QED a QCD s  $SU(2)$  symetriou,
3. prepracovanie prvej verzie rukopisu o narušení symetrie v dvoj- a trojrozmernej skalárnej teórii, dokončenie práce o LF Higgsovom mechanizme v radiálnej a light-cone kalibrácii.

Ciele na rok 2007 boli splnené resp. čiastočne v priebehu roka modifikované, čo vyplynulo z objavenia sa nových ideí a nápadov a uvedomenia si nových súvislostí. Tieto neplánované témy zahŕňajú otázky Poincarého invariantnosti LF teórií [12] a problematiku porovnania štruktúry SL a LF verzií teórie poľa na úrovni presne riešiteľných modelov, ako aj odvodenie fyzikálneho vákuu vo zvyčajnej SL teórii pre tieto modely pre prípad nehmotných fermiónov. V júni vyšiel v časopise rozsiahly článok [10], ktorý sme oproti pôvodnému plánu rozšírili na cca 160 strán.

Plánovanú prácu o LF bozonizácii voľných masívnych fermiónov, masívneho Schwingerovho a Thirringovho modelu sme zatiaľ neposlali na uverejnenie, pretože ju rozširujeme o nové aspekty, inšpirované prístupom



Lehmana a Stehra [16] k neporuchovej SL bozonizácii, ktorý je všeobecnejší ako bežne citovaný prístup Colemanu, založený na poruchovej teórii.

V priebehu januára 2008 bude zaslaná na uverejnenie práca o LF kvantovaní dvojrozmerných SU(2) modelov. Podstatne sme pokročili aj v problematike LF kvantovania (2+1)-rozmernej kvantovej elektrodynamiky a chromodynamiky a Dirac–Bergmannovho kvantovania SU(2) gluodynamiky. Doteraz dosiahnuté výsledky dostatočne napĺňajú ciele pôvodného projektu, budú však – v záujme väčšej úplnosti a hĺbky ponoru do témy – uverejnené neskôr, po preskúmaní ďalších aspektov uvedenej problematiky.

### **III. Fenomenologické aplikácie efektívnych teórií pol'a**

Cieľ na rok 2007 bol (skrátene) formulovaný takto:

1. dokončenie vyhodnocovania výsledkov získaných metódou založenou na dopredných disperzných vzťahoch;
2. úprava programu pre Royove rovnice na základe vedomostí získaných pri odlaďovaní programu na riešenie dopredných disperzných vzťahov a zapracovanie potrebných fyzikálnych vstupov s cieľom porovnať výsledky získaného pión-nukleónového  $\Sigma$ -člena a kvalitatívne zhodnotiť rozdiely vo výstupe.

Prvý cieľ bol splnený, výsledky budú uverejnené v článku, ktorý bol v čase písania tejto správy tesne pred dokončením. Predpokladaný termín zaslania do časopisu European Physical Journal C je koniec januára 2008.

Druhý cieľ je v prevažnej miere splnený, technická (programátorská) časť je dokončená v s- a u- kanáloch, programy sú odladené a otestované. Doplnenie programov o fyziku v t-kanáli a následné finálne numerické spracovanie je otázkou najbližšej budúcnosti a bude čoskoro dokončené bez ďalších nárokov na finančné zdroje APVV. Očakávané výsledky, predovšetkým spoľahlivejšia hodnota pión-nukleónového  $\Sigma$ -člena, budú potom uverejnené s poďakovaním za podporu APVV grantu a uvedením čísla projektu (APVT-51-005704). Predpokladaný termín publikovania je v 2. štvrťroku 2008.

### **Súhrnné vyjadrenie o splnení cieľov 3. etapy úlohy**

Celkovo možno konštatovať, že ciele 3. roku riešenia projektu boli splnené. V priebehu roku 2007 vyšli 3 karentované publikácie (jedna z nich rozsahu monografie), 1 článok je v tlači v karentovanom časopise, 4 ďalšie sú v recenznom konaní v karentovaných časopisoch (2 z nich boli uverejnené aj v elektronickom preprintovom archíve). Boli publikované 2 práce v konferenčnom zborníku. Minimálne dva ďalšie odborné články sú v stave dokončovania resp. ich témy sú vo finálnej fáze numerického spracovania výsledkov, publikácie vzniknú v priebehu roku 2008, o čom budeme APVV priebežne informovať.

V rámci projektu vznikla v priebehu roku 2007 aj jedna písomná (tzv. „minimová“) práca k dizertačnej skúške doktoranda, ktorý je spoluriešiteľom projektu [3].

Výsledky projektu boli na konci roku 2007 prednesené a prediskutované na sérii 4 seminárov: 2 na Katedre teoretickej fyziky a didaktiky fyziky FMFI UK (M. Mojžiš, 6.11.2007; Z. Dzuráková, 13.11.2007) a 2 seminároch Oddelenia komplexných fyzikálnych systémov FÚ SAV (Ľ. Lipták, 19.11.2007; Ľ. Martinovič, 3.12.2007). Seminára sa konali za pomerne širokej účasti odbornej verejnosti.

### **Vyjadrenie o splnení cieľov celého projektu**

Súhrnne možno konštatovať, že ciele tohto projektu boli v primeranej miere splnené. Pozorný čitateľ charakteristiky projektu v pôvodnom texte návrhu iste rozpozná, že väčšinu tém, ktorými sme sa plánovali zaoberať, sme skutočne podrobne rozpracovali a dosiahli pri ich riešení významné výsledky, ktoré boli zhrnuté v priebežných správach za roky 2005 a 2006 a v tejto správe a uverejnené v odborných publikáciách v zahraničných časopisoch vysokého rangu. Všimne si pravdepodobne aj to, že niektorým témam sme sa venovali menej, ako sme pôvodne predpokladali, alebo sme ich riešenie vypustili. Treba si však uvedomiť, že sa jednalo o projekt teoretického charakteru, ktorý za zaoberal aktuálnymi a zaujímavými problémami, na ktorých pracuje celý rad odborníkov na celom svete. Pôvodné plány sme občas boli nútení modifikovať na základe výsledkov, ktoré v období riešenia projektu dosiahli iné výskumné skupiny, resp. sme občas menej aktuálne problémy nahradili aktuálnejšími a zaujímavejšími. Úplne sme vypustili teoretickú analýzu tzv. „soft-collinear“ efektívnej teórie rozpadov B-mezónov, čo sme zdôvodnili v správe za rok 2006, a táto zmena bola Agentúrou akceptovaná.

Podrobný súpis dosiahnutých výsledkov sme už podali v správach za r. 2005 a 2006 a vyššie, preto tu zhrnieme iba scientometrické výstupy ukončeného projektu. Doteraz boli výsledky projektu publikované<sup>‡</sup>:

- v 10 článkoch v karentovaných vedeckých časopisoch (jeden z nich rozsahu monografie, jeden je prijatý do tlače a výjde v roku 2008),
- v 3 článkoch, ktoré boli zaslané na uverejnenie v karentovaných časopisoch a sú v recenznom konaní,
- v 1 nepublikovanom preprinte,
- v 6 publikáciách v zborníkoch z konferencií,
- v 1 polopopulárnom článku v Československom časopise pre fyziku.

Okrem toho boli výsledky prezentované v 17 prednáškach na konferenciách, školách a workshopoch v zahraničí a na viacerých seminároch na zahraničných a domácich pracoviskách. V rámci projektu boli vypracované a obhájené 2 písomné („minimové“) práce k dizertačnej skúške a 1 diplomová práca. Do riešenia projektu boli priamo zapojení dvaja doktorandi.

Niektoré parciálne problémy projektu sú vo konečnom štádiu numerického spracovania resp. v štádiu dokončovania publikácií a budú čoskoro zaslané na uverejnenie, o čom budeme Agentúru informovať.

Dosiahnuté výsledky majú tiež značný citačný ohlas. Na práce v rámci projektu, publikované v rokoch 2005–2007, registrujeme doteraz 32 citácií v databáze SCI Web of Science a ďalších 26 citácií v doteraz nevyjdených odborných článkoch (preprintoch v elektronickej databáze arXiv.org), v zborníkoch z konferencií a v diplomových a dizertačných prácach. Ich úplný zoznam je uvedený v prílohe, vo formulári „Výstupy a prínosy projektu“.

### 3. Zoznam výstupov a prínosov projektu za posledný rok

Úplný zoznam je uvedený v prílohe, vo formulári „Výstupy a prínosy projektu“.

#### Odkazy na literatúru citovanú v časti A

- [1] J. Greensite, K. Langfeld, Š. Olejník, H. Reinhardt a T. Tok: *Color screening, Casimir scaling, and domain structure in  $G(2)$  and  $SU(N)$  gauge theories*, Phys. Rev. D75 (2007) 034501.
- [2] A. Maas a Š. Olejník: *A first look at Landau-gauge propagators in  $G_2$  Yang-Mills theory*, preprint (2007) – dostupné v preprintovom archíve ako arXiv:0711.1451 [hep-lat], zaslané na uverejnenie v odbornom časopise.
- [3] L. Lipták: *Aspects of chiral symmetry and confinement in the lattice formulation of QCD*, písomná práca k dizertačnej skúške, FÚ SAV (2007).
- [4] J. Greensite a Š. Olejník: *Confinement from gauge invariance in 2+1 dimensions*, preprint (2006) – dostupné v preprintovom archíve ako arXiv:hep-lat/0610073.
- [5] J. Greensite a Š. Olejník: *Dimensional reduction and the Yang-Mills vacuum state in 2+1 dimensions*, preprint (2007) – dostupné v preprintovom archíve ako arXiv:0707.2860 [hep-lat], zaslané na uverejnenie v odbornom časopise.
- [6] J. Greensite a Š. Olejník: *Yang–Mills ground state in 2+1 dimensions and temporal gauge*, v zborníku z konferencie *Lattice 2007*, Proceedings of Science: LATTICE 2007 (2007) 305 (p. 1-7) – dostupné v preprintovom archíve ako arXiv:0709.2370 [hep-lat].
- [7] C. Gattringer a L. Liptak: *Energy density of chiral lattice fermions with chemical potential*. Phys. Rev. D76 (2007) 054502.
- [8] C. Gattringer a L. Liptak: *Thermodynamical quantities for overlap fermions with chemical potential*. Proceedings of Science: LATTICE 2007 (2007) 205 (p. 1-7) – dostupné v preprintovom archíve ako arXiv:0708.0935 [hep-lat].
- [9] L. Martinovič a P. Grangé: *Higgs mechanism in a light front formulation*, preprint (2006) – dostupné v preprintovom archíve ako arXiv:hep-th/0610048; Mod. Phys. Lett. A, v tlači.
- [10] L. Martinovič: *Light front field theory: an advanced primer*, Acta Phys. Slov. 57 (2007) 407–564.
- [11] C. R. Hagen: *Comments on a paper by Callan, Coote, and Gross*, Phys. Rev. D16 (1977) 3612.

<sup>‡</sup> Publikácie obsahujú poďakovanie za podporu APVV.

- [12] L. Martinovič a P. Grangé: *Surface terms and Poincaré algebra in light front quantization* – rukopis pred dokončením, bude zaslané na publikovanie.
- [13] D. C. Mattis a E. H. Lieb: *Exact solution of a many-particle system and its associated boson field*, J. Math. Phys. 6 (1965) 304.
- [14] L. Martinovič: *Light front quantization of two-dimensional SU(2) models with massive dynamical fermions and their vacuum structure* – rukopis pred dokončením, bude zaslané na publikovanie.
- [15] L. Martinovič, *Spontaneous symmetry breaking in light front field theory*, preprint (2008) – zaslané 15.1.2008 do časopisu Phys. Rev. D.
- [16] H. Lehmann and K. Stehr: *The Bose field structure associated with a free massive Dirac field in one space dimension*, preprint DESY 76/29 (1976).



## **Časť B - Zdôvodnenie čerpania finančných prostriedkov z APVV za posledný rok**

### **1. Vyjadrenie o použití účelovej podpory v súlade so schváleným rozpočtom projektu**

Účelová podpora z grantu APVV bola použitá v súlade so schváleným rozpočtom projektu (s upresneniami podľa priebežnej správy za r. 2006 zo dňa 26.1.2007, ktoré Agentúra akceptovala). Zmeny podpoložiek rozpočtu na rok 2007 (zdôvodnené nižšie) boli uskutočnené plne v súlade s materiálom „Zásady hospodárenia s finančnými prostriedkami počas riešenia projektu APVV platné pre projekty so začiatkom riešenia v roku 2004 a 2005.“

### **2. Dôvody odklonu skutočného čerpania od pôvodne schváleného rozpočtu v poslednom roku riešenia**

Pri čerpaní prostriedkov grantu APVV nedošlo k žiadnemu navýšeniu v sledovaných podpoložkách **Mzdové náklady...**, **Náklady na sociálne a zdravotné poistenie...** a **Nepriame (režijné) náklady**. V položke **Cestovné** nebola čerpaná suma na **Cestovné tuzemské** (vo výške 2000 SK), ktorá bola, spoločne s ušetrenou sumou v položke **Nepriame (režijné) náklady**, presunutá do položky **Náklady na obstaranie**.

V rámci položky **Náklady na obstaranie** bola zvýšená podpoložka **Spotreba materiálu**, a to – okrem vyššie spomínaných úspor – na úkor podpoložky **Služby výskumu a vývoja**. V pláne na rok 2007 sme počítali, že spolupracujúcej organizácii FMFI UK prevedieme v rámci tejto podpoložky sumu 144 tisíc SK. Časť tejto sumy mala byť použitá na nákup dvoch počítačov, na ktorých by sa realizovali náročné numerické výpočty poslednej fázy realizácie podúlohy, ktorú riešili spolupracovníci z FMFI UK. Po diskusiách sme však považovali za účelnejšie použiť túto sumu na rozšírenie počítačového klastra, ktorý sme počas riešenia projektu budovali vo FÚ SAV a ktorý využívajú riešitelia z oboch pracovísk, a preto sme spoluriešiteľskej organizácii previedli iba sumu 100 tisíc SK.

Podstatná časť výdavkov v rámci položky **Spotreba materiálu** bola využitá na nákup drobného hmotného majetku, konkrétne na štyri ďalšie nody počítačového klastra, switch a záložné zdroje. Ako sme uviedli už v priebežných správach za roky 2005, 2006 a v časti A tejto správy, problémy projektu boli mimoriadne náročné na počítačový čas a dosiahnutie konkurencieschopných výsledkov si vyžadovalo pravidelné rozširovanie klastra podľa aktuálnych potrieb riešených úloh. Celý rad výsledkov, ktoré sme zhrnuli v časti A, by nebolo možné bez primeraného rozšírenia výpočtovej kapacity dosiahnuť resp. doviest' do publikovateľnej formy.