Abstract of PhD thesis
Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

Functional renormalization group for ordinary and ghost O(N) models, with higher order gradient term

Magasabb rendű gradienstagos normál és szellemteres O(N)-modellek vizsgálata funkcionális renormálási csoporttal

Zoltán Péli

Supervisor/Témavezető

Dr. Kornél Sailer

University of Debrecen
PhD School in Physics

Debreceni Egyetem
Fizikai Tudományok Doktori Iskolája

Debrecen, 2018

Prepared at

the Theoretical Physics Department of the University of Debrecen

Készült

a Debreceni Egyetem Elméleti Fizika Tanszékén

Introduction

Functional renormalization group (FRG) methods combine Wilson's intuitive idea for the renormalization group with the functional methods of the quantum field theory. It provides a powerful framework for identifying and quantifying phase transitions, especially continuous ones. One derives the so-called β-functions for the couplings in the examined model from which the couplings' dependence on the physical scale (the so-called renormalization group flow) can be computed. The viability of the FRG was first displayed by the solution of the Kondo problem, along with the establishing of the ϵ-expansion. The latter of which makes one able to investigate continuous phase transitions in continuous spatial dimensions. There are several formulations of exact renormalization group equations in the field of FRG. Despite the fact of them being exact, these equations have to be truncated, since they are functional equations. I am going to use the Wegner-Houghton equation along with the tree-level renormalization as well as the Wetterich equation in the higher orders of the gradient expansion. The gradient expansion is a widely used tool to control the precision of the numerical calculation in the FRG by making the truncation of the functional space less severe. Furthermore, some important data, such as the anomalous dimension η is only available in the higher orders of the gradient expansion. This tool is about expanding the path integral in powers of the gradient of the field variable. The lowest, zeroth order of this expansion is called the local potential approximation, while there is no widely used name for the higher orders of this approximation, throughout the thesis, the one quadratic in the gradient of the field variable is called next-to-leading order (NLO) and the one quartic in the gradient of the field variable is called next-to-next-to-leading order (NNLO).

Motivation

Models, which contain gradient terms with alternating signs give rise to periodic ground-state configurations. There are various models in solid state physics and quantum field theory, in which the ground state exhibits a periodic structure, because the periodic vacuum provides a deeper minimum of the effective action than the homogeneous one. Inhomogeneity of the ground state suggests, that strongly distance-dependent interactions should be present in the system. It is reasonable to expect that for such interactions the gradient terms with sufficiently strong couplings are responsible rather than the ultra-local potential terms in the effective action. In such models, the expectation value of the kinetic-energy operator constructed from the derivatives of the fundamental fields, is non-vanishing. The non-vanishing expectation value arises generally due to the alternating signs of the gradient terms of various orders. This so-called kinetic condensation means, that quasiparticles with non-zero momentum appear and condense forming a periodic classical background field, which breaks the spatial symmetries of the system spontaneously. As opposed to this, in the case of the Nambu-Goldstone type spontaneous symmetry breaking, quasiparticles with vanishing momentum condense into a homogeneous classical background field. The simplest case of a model with alternating sign gradient terms contains quadratic and quartic powers of the gradient of the field, the coupling corresponding to the quadratic term is chosen to be negative, while the higher order gradient term's couplings is set to positive values for stabilization. This kind of models is called ghost models and they provide the basis of my Ph.D. theses. In modern quantum gravity research, much attention has been paid recently to the role of the ghost models in various cosmological scenarios close to the Planck scale and beyond it. In particular, the conformal factor in the Einstein-Hilbert action makes the action unbounded from below and appears to be a ghost scalar. The kinetic (or equivalently ghost) condensation of the conformal factor can cure the unboundedness. Nevertheless, aside from this example, ghost models and the kinetic condensation is rarely or not even discussed in the FRG literature, despite their importance in the solid state and particle physics. Therefore, the motivation of this thesis is to bridge the existing gap in this subject.

Thesis Points

The list of points below summarize my achievements in FRG studies for ghost and ordinary models:

1. I have studied the Euclidean, normal, $O(N)$ symmetric models at the higher orders of the gradient expansion, up to the NNLO level. I have computed the critical exponents ν and η of the $O(1)$ model in NNLO, in spatial dimensions $2 < d < 4$, which have proven to be valuable additions to the existing results of the literature. For the first time in the literature, I have also computed the N-dependence of ν and η in the 3-dimensional case, as well as the N-dependence of the first three of the rarely discussed scaling corrections to the Wilson-Fisher fixed point: $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ [**A**]. I have written a code for the automated, analytic derivation of the flow equations from the Wetterich equation. I have also written a numerical code, which integrates the flow equations with given initial conditions, thereby one is able to map the phase structure of the model. I have also written a numerical code for determining the Wilson-Fisher fixed point and computing the corresponding eigenvalues of the stability matrix. I have presented these results in the DOFFI 2017 conference [1].

2. I have studied the phase structure and the deep infrared behavior of the Euclidean, 3-dimensional $O(2)$ ghost models by means of tree-level renormalization and the Wegner-Houghton equation. I have implemented the numerical tree-level renormalization procedure as an iterative recursion equation and written a code for the numerical solution of the flow equations, derived from the Wegner-Houghton equation. I have tested the numerical code for the tree-level renormalization on known results with success, such results are the Euclidean, 3-dimensional ordinary $O(1)$ model and the Euclidean 2-dimensional sine-Gordon model. Thereafter I have applied it to the Euclidean, 3-dimensional ghost $O(2)$ model and provided results for the infrared scaling of the couplings in the various phases in various approaches, such as Case Y [**B**] and Case $\tilde{Y}$ [**C**].

i. In Case Y, the dimensionful coupling Y, corresponding to the operator $\Box^2$ has been kept constant, where $\Box$ is the 3-dimensional Laplace-operator. It has been found, that this approach yields two phases. The transition between them is of the first order. One of the phases has been found to be the symmetric one, with tree-level infrared scaling for the couplings and convex, non-universal dimensionful effective potential. Another phase, called restored symmetry phase has also been found with the transient presence of the ghost condensate during the RG flow, which is however washed out in the infrared scaling regime. It has been established, that the restored symmetry phase exhibits a convex, quasi-universal, dimensionful effective potential. I have presented these results in the DOFFI 2017 conference [2].

ii. In Case $\tilde{Y}$, the dimensionless counterpart $\tilde{Y}$ of Y has been kept constant. The phase structure has turned out to be richer in this approach. Three phases has been identified, with an emergent triple point. Phase I is just the same symmetric phase as in Case Y. Phase II is reminiscent to the symmetry restored phase of Case Y, while Phase III is akin to the symmetry breaking phase of the ordinary $O(2)$ model. The order of the phase transitions have also been determined. The phase transitions $II \to I$ and $III \to II$ are of the first order, while the transition $III \to I$ is a continuous one.

3. I have made significant contributions in the development of a modified version of the Wetterich approach, which we call Fourier-Wetterich approach. This framework has been proposed to treat periodic condensates - such as the ghost condensates - in the higher orders of the gradient expansion. We have applied our method to the Euclidean, 3-dimensional ghost $O(1)$-model. I have derived the flow equations analytically and have written a numerical code to handle this method, namely, in every iterative step of the numerical integration of the flow equations one also has to solve an algebraic equation. I have provided numerical results about the scaling of the different couplings and the phase structure. I have taken every term into account, which contain the induced verti-

ces. The latter correspond to the interaction between the periodic condensate and the quantum fluctuations of the background field. The inclusion of these vertices impact the phase structure severely [**D**]. On the basis of their infrared behavior, five phases have been found: a symmetric, two symmetry breaking and another two non-perturbative phases.

Bevezető

A funkcionális renormálási csoport különböző módszerei ötvözik Wilson renormálási csoportra vonatkozó intuitív ötletét a kvantumtérelmélet funkcionális módszereivel. A funkcionális renormálási csoport egy hatékony keretrendszer a fázisátalakulások azonosítására és számszerűsítésére, különös tekintettel a folytonos fázisátalakulásra. A módszer alkalmazása során a vizsgált modell csatolásaira ú.n. β-függvényeket vezetünk le, melyekből kiszámolható a csatolások fizikai skálától való függése (ezt a renormálási csoport okozta folyásnak nevezzük). A funkcionális renormálási csoport alkalmazhatóságát első ízben a Kondo-probléma megoldása, valamint az ϵ-kifejtés megalapozása demonstrálta. Az utóbbi folytonos fázisátalakulások folytonos térbeli dimenzióban vett vizsgálatára alkalmas. Számos egzakt egyenlet létezik a renormálási csoport okozta folyás leírására. Az egzaktság ellenére ahhoz, hogy számszerű adatokhoz jussunk, ezeket az egyenleteket, pontosabban az egyenletekhez tartozó funkcionáltereket csonkolni kell, hiszen ezek funkcionálegyenletek. Én a Wegner-Houghton-féle sémát és a faszintű renormálást fogom használni, valamint a Wetterich-egyenletet, ez utóbbit a gradienskifejtés magasabb rendjeiben. A funkcionális renormálási csoporton belül a gradienskifejtés egy eszköz arra, hogy ellenőrzés alatt tartsuk a számolások numerikus precizitását azáltal, hogy a növekvő rendekben csökken a funkcionáltérre kirótt csonkolás mértéke. Továbbá, néhány fontos adat, mint az η anomális dimenzió, kizárólag a gradienskifejtés magasabb rendjeiben érhető el. Ezen eszköz alkalmazása során kifejtjük a pályaintegrált a térváltozó gradiensének a hatványai szerint. A gradienskifejtés legalacsonyabb rendjét, a nulladrendet lokálispotenciál-közelítésnek hívja a szakirodalom. Ugyanakkor a magasabb rendekre nincs általánosan használt kifejezés, ezért tézisemben a kifejtés másodrendjét, melyben a térváltozó gradiensének a négyzetéhez tartozó csatolás folyása nem triviális, vezető renden túli közelítésnek, azaz „next-to-leading-order”-nek (NLO) fogom nevezni, míg a kifejtés negyedik rendjét „next-to-next-to-leading-order”-nek (NNLO).

Motiváció

Azon modellek esetén, melyekben a gradienstagok váltakozó előjellel fordulnak elő, periodikus alapállapot jelenthet meg. Számos olyan szilárdtestfizikai és kvantumtérelméleti modell ismert, amelyekben az alapállapot periodikus, azaz a periodikus vákuum mélyebb minimumot biztosít az effektív hatásban, mint a homogén. Az alapállapot inhomogenitása arra utal, hogy a távolságtól erősen függő kölcsönhatások vannak jelen a rendszerben. Ilyen esetben ésszerű azt feltételezni, hogy ezért inkább a megfelelően erős csatolással jelenlévő gradienstagok a felelősek, mint az ultralokális potenciál az effektív hatásban. Az ilyen modellekben, a fundamentális kvantumterek deriváltjaiból felépített kinetikus energia operátorának a várható értéke nem nulla. Ezt a nem nulla várható értéket a váltakozó előjelű, különböző rendű gradienstagok okozzák. Ez az ú.n. kinetikus kondenzáció azt jelenti, hogy nem nulla lendületű kvázirészecskék jelennek meg és kondenzálódnak, ezzel kialakítva egy térben periodikus klasszikus háttérteret, amely ezzel spontán megsérti a rendszer térbeli szimmetriáit. Ezzel szemben a Nambu-Goldstone-típusú spontán szimmetriasértés folyamán nulla lendületű kvázirészecskék jelennek meg, melyek homogén klasszikus háttértérré kondenzálódnak. A váltakozó előjelű gradienstagokat tartalmazó modellek legegyszerűbb fajtái a tér gradiensét másod- és negyedrendben tartalmazzák és a másodrendű taghoz tartozó csatolás negatív, míg a negyedrendű tag csatolása pozitív értékre van beállítva az energetikai stabilizálás érdekében. Az ilyen típusú modelleket szellemteres modelleknek vagy röviden szellemmodelleknek nevezik és ezek képzik a Ph.D. értekezésem alapját. A modern kvantumgravitációt övező kutatásban is nagy hangsúlyt kapnak a szellemmodellek, főleg különböző kozmológiai vizsgálatok terén, közel a Planck-skálához. Ennek az az oka, hogy az Einstein-Hilbert-hatásban szereplő konform faktor miatt a modell hatása alulról nem korlátos. A konform faktor a megfelelő transzformációk után szellemskalártérként jelenik meg. A kinetikus (vagy ezzel szinonimaként, a szellemteres) kondenzáció mechanizmusa folytán az alulról nemkorlátosság dinamikus úton megszűnhet. Ettől a példától eltekintve a szellemmodelleket és a kinetikus kondenzáció mechanizmusát – tudomásom szerint – ritkán, vagy egyáltalán nem vizsgálják a funkcionális renormálási csoport módszerével a szakirodalomban, annak ellenére, hogy a szilárdtest- és a részecskefizikában fontos szerepet töltenek be. Ennek okán, a doktori értekezésem motivációja, hogy ezen a területen áthidaljam a szakadékot.

Tézispontok

Az alábbi lista tartalmazza a normál és a szellemteres modellekre kapott eredményeimet, melyeket a funkcionális renormálási csoport alkalmazásával értem el.

1. Az euklideszi, normál $O(N)$-modelleket tanulmányoztam a gradienskifejtés magasabb rendjeiben, NLO- és NNLO-közelítésben. Kiszámítottam az $O(1)$-modell ν és η kritikus exponenseit NNLO-közelítésben $2 < d < 4$ folytonos dimenziókban, ami értékes hozzájárulás a szakirodalom eddigi eredményeihez. A szakirodalomban eddig nem fellelhető eredményként meghatároztam ν és η N-függését, továbbá meghatároztam ω_1, ω_2 és ω_3 N-függését is, melyek a Wilson-Fisher-fixponthoz tartozó első három skálázási korrekciót jelentik [**A**]. A különböző csatolások folyási egyenleteit a Wetterich-egyenletből származtatjuk, amely feladat elvégzésére analitikus, automatizált programkódot írtam. Szintén programot írtam a renormálási csoport folyását leíró egyenletek, különböző feltételek mellett vett numerikus integrálására, amely lehetőséget nyújt a modell fázisszerkezetének a vizsgálatára. Végül programot írtam a Wilson-Fisher-fixpont numerikus meghatározására, és a stabilitási mátrix ezen pontban vett sajátértékeinek kiszámolására. A DOFFI 2017 konferencián beszámoltam az ezen pontban elért eredményeimről [1].

2. Az euklideszi, 3-dimenziós, szellemteres $O(2)$-modell fázisszerkezetét és mély-infravörös viselkedését vizsgáltam a faszintű renormálást és a Wegner-Houghton-egyenletet felhasználva. A numerikus, faszintű renormálást egy iteratív rekurziós egyenlet formájában implementáltam, továbbá programot írtam a Wegner-Houghton-egyenlet által szolgáltatott folyási egyenletek numerikus integrálására. A faszintű renormálást elvégző numerikus

kódot sikerrel teszteltem ismert eredményeken: az euklideszi, 3-dimenziós, normál $O(1)$-modellen és az euklideszi, 2-dimenziós sine-Gordon-modellen. Ezek után alkalmaztam a módszert az euklideszi, 3-dimenziós, szellemteres $O(2)$-modellre. Ez utóbbi során eredményeket szolgáltattam a különböző csatolások infravörös skálázásáról különböző fázisokban és különböző szemléletmódokban: Y eset [**B**], valamint $\tilde{Y}$ eset [**C**].

i. Az Y esetben a dimenziós Y csatolást tartjuk állandó értéken. Ez a csatolás a $\Box^2$ operátorhoz tartozik, ahol $\Box$ a 3-dimenziós Laplace-operátor. A vizsgálat eredményei szerint ez a szemléletmód két fázist szolgáltat, melyek között elsőrendű fázisátmenet van. Az egyik fázis a szimmetrikus fázis, ahol a csatolások a faszintű skálatörvényekkel skáláznak az infravörösben, a dimenziós effektív potenciál konvex és nem univerzális. A másik fázist visszaállt szimmetriájú fázisnak neveztük el, ahol köztes skálákon megjelent a szellemtér kondenzátuma, de kihalt az infravörös skálázási régióban. Itt a dimenziós effektív potenciál konvex és kvázi-univerzális. A DOFFI 2016 konferencián beszámoltam az ezen pontban elért eredményeimről [2].

ii. Az $\tilde{Y}$ esetben az Y-nak megfelelő dimenziótlan $\tilde{Y}$ csatolás állandó. Ez a szemléletmód gazdagabb fázisszerkezetet eredményezett. Három fázist azonosítottunk, melyek fázishatárai egy hármaspontban találkoznak. Az I. fázis az Y eset szimmetrikus fázisának felel meg, míg a II. fázis hasonló viselkedéssel bír, mint az Y eset visszaállt szimmetriájú fázisa. Végül a III. fázis hasonló jegyeket mutat, mint a normál modell szimmetriasértő fázisa. A fázisátmenetek rendjeit is meghatároztuk. A $II \to I$ és $III \to II$ fázisátmenetek elsőrendűek, míg a $III \to I$ átmenet folytonos.

3. Döntő szerepet játszottam a Wetterich-séma egy módosított változatának kifejlesztésében, amelyet Fourier-Wetterich-sémának nevezünk. Ennek célja a periodikus kondenzáció - mint amilyen a szellemterek kondenzációja is - vizsgálata a gradienskifejtés magasabb rendjeiben. A módszert az euklideszi, 3-dimenziós, szellemteres $O(1)$-modellre alkalmaztam. Analitikusan származtattam a folyási egyenleteket. Ezen felül kódot írtam a renormálási csoport

folyását leíró egyenletek megoldására, melynek különlegessége, hogy a differenciál-egyenletrendszer numerikus integrálásánál minden iteratív lépésben meg kell oldani egy algebrai egyenletet is. Eredményeket közlök a modell fázisszerkezetéről és a különböző csatolások skálázásáról. A munkám során az egyenletekben minden tagot figyelembe vettem, amelyek a periodikus kondenzátum és a háttértér kvantumfluktuációinak a kölcsonhatását leíró indukált vertexeket tartalmazza. Ezen vertexek figyelembevétele jelentős hatással van a modell fázisszerkezetére [**D**]. Az infravörös viselkedés alapján öt fázist lehetett beazonosítani: egy szimmetrikus, két szimmetriasértő és további két, nem-perturbatív fázist.

The list of publications, serving as the basis of the present thesis

A jelen dolgozat alapjául szolgáló publikációk listája

[**A**] Z. Péli, S. Nagy, K. Sailer, *Effect of the quartic gradient terms on the critical exponents of the Wilson-Fisher fixed point in* $O(N)$ *models*, Eur. Phys. J. A **54**:20 (2018).
IF: 2,833

[**B**] Z. Péli, S. Nagy, K. Sailer, *Phase structure of the* $O(2)$ *ghost model with higher-order gradient term*, Phys. Rev. D **94**, 065021 (2016), hep-th/1605.07836.
IF: 4,568

[**C**] Z. Péli, S. Nagy, K. Sailer, *Triple point in the* $O(2)$ *ghost model with higher-order gradient term*, Phys. Rev. D **94**, 065037 (2016), hep-th/1608.02080.
IF: 4,568

[**D**] Z. Péli, S. Nagy, K. Sailer, *Phase structure of the Euclidean 3-dimensional* $O(1)$ *ghost model*, **Accepted for publication at Int. J. Mod. Phys. A.** (2018).
IF: 1,650

Further publications

További közlemények

[1] Z. Péli, Physicist Doctorands Conference (DOFFI), Hungary, *Effect of the quartic gradient terms on the critical exponents of the Wilson Fisher fixed point in the O(N) models* (2017).

[2] Z. Péli, Physicist Doctorands Conference (DOFFI), Hungary, *Analysis of the ghost O(2) model* (2016).

[3] Z. Péli, S. Nagy, and K. Sailer, arXiv:hep-th/1803.10116

[4] K. Sailer, Z. Péli, S. Nagy, *Some consequences of the generalized uncertainty principle induced ultraviolet wave-vector cutoff in one-dimensional quantum mechanics*, Phys. Rev. D **87**, 084056 (2013), math-ph/1301.6913.
IF: 4,864

[5] K. Sailer, Z. Péli, S. Nagy, *Particle in a cavity in one-dimensional bandlimited quantum mechanics*, J. Phys. A **48**, 075305 (2015), hep-th/1410.0175.
IF: 1,933

[6] S. Nagy, B. Fazekas, Z. Péli, I. Steib, K. Sailer, *Regulator dependence of fixed points in quantum Einstein gravity with R^2 truncation*, Class. Quantum Grav. **35**, 055001 (2018), hep-th/1707.04934.
IF: 3,119

UNIVERSITY of DEBRECEN

UNIVERSITY AND NATIONAL LIBRAY
UNIVERSITY OF DEBRECEN
H-4002 Egyetem tér 1, Debrecen
Phone: +3652/410-443, email: publikaciok@lib.unideb.hu

Registry number: DEENK/334/2018.PL
Subject: PhD Publikációs Lista

Candidate: Zoltán Péli
Neptun ID: GY89EH
Doctoral School: Doctoral School of Physics

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (3)

1. **Péli, Z.**, Nagy, S., Sailer, K.: Effect of the quartic gradient terms on the critical exponents of the Wilson-Fisher fixed point in O(N) models.
   Eur. Phys. J. A. 54 (2), 1-19, 2018. ISSN: 1434-6001.
   DOI: http://dx.doi.org/10.1140/epja/i2018-12385-9
   IF: 2.799 (2017)

2. **Péli, Z.**, Nagy, S., Sailer, K.: Phase structure of the O(2) ghost model with higher-order gradient term.
   Phys. Rev. D. 94 (6), 1-15, 2016. ISSN: 2470-0010.
   DOI: http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.94.065021
   IF: 4.568

3. **Péli, Z.**, Nagy, S., Sailer, K.: Triple point in the O(2) ghost model with higher-order gradient term.
   Phys. Rev. D. 94 (6), 1-8, 2016. ISSN: 2470-0010.
   DOI: http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.94.06503
   IF: 4.568

UNIVERSITY of DEBRECEN

UNIVERSITY AND NATIONAL LIBRAY
UNIVERSITY OF DEBRECEN
H-4002 Egyetem tér 1, Debrecen
Phone: +3652/410-443, email: publikaciok@lib.unideb.hu

List of other publications

Foreign language scientific articles in international journals (3)

4. Nagy, S., Fazekas, B., **Péli, Z.**, Sailer, K., Steib, I.: Regulator dependence of fixed points in quantum Einstein gravity with R2 truncation.
   Class. Quantum Gravity. 35 (5), 1-10, 2018. ISSN: 0264-9381.
   DOI: http://dx.doi.org/10.1088/1361-6382/aaa6ee
   IF: 3.283 (2017)

5. Sailer, K., **Péli, Z.**, Nagy, S.: Particle in a cavity in one-dimensional bandlimited quantum mechanics.
   J. Phys. A-Math. Theor. 48 (7), 1-18, 2015. ISSN: 1751-8113.
   DOI: http://dx.doi.org/10.1088/1751-8113/48/7/075305
   IF: 1.933

6. Sailer, K., **Péli, Z.**, Nagy, S.: Some consequences of the generalized uncertainty principle induced ultraviolet wave-vector cutoff in one-dimensional quantum mechanics.
   Phys. Rev. D. 87 (8), 1-22, 2013. ISSN: 1550-7998.
   DOI: http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.87.084056
   IF: 4.864

Total IF of journals (all publications): 22,015
Total IF of journals (publications related to the dissertation): 11,935

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of Web of Science, Scopus and Journal Citation Report (Impact Factor) databases.

18 October, 2018

DEBRECENI EGYETEM

DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR
H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/334/2018.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Péli Zoltán
Neptun kód: GY89EH
Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

1. **Péli, Z.**, Nagy, S., Sailer, K.: Effect of the quartic gradient terms on the critical exponents of the Wilson-Fisher fixed point in O(N) models.
   Eur. Phys. J. A. 54 (2), 1-19, 2018. ISSN: 1434-6001.
   DOI: http://dx.doi.org/10.1140/epja/i2018-12385-9
   IF: 2.799 (2017)

2. **Péli, Z.**, Nagy, S., Sailer, K.: Phase structure of the O(2) ghost model with higher-order gradient term.
   Phys. Rev. D. 94 (6), 1-15, 2016. ISSN: 2470-0010.
   DOI: http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.94.065021
   IF: 4.568

3. **Péli, Z.**, Nagy, S., Sailer, K.: Triple point in the O(2) ghost model with higher-order gradient term.
   Phys. Rev. D. 94 (6), 1-8, 2016. ISSN: 2470-0010.
   DOI: http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.94.06503
   IF: 4.568

DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR
H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

4. Nagy, S., Fazekas, B., **Péli, Z.**, Sailer, K., Steib, I.: Regulator dependence of fixed points in quantum Einstein gravity with R2 truncation.
   Class. Quantum Gravity. 35 (5), 1-10, 2018. ISSN: 0264-9381.
   DOI: http://dx.doi.org/10.1088/1361-6382/aaa6ee
   IF: 3.283 (2017)

5. Sailer, K., **Péli, Z.**, Nagy, S.: Particle in a cavity in one-dimensional bandlimited quantum mechanics.
   J. Phys. A-Math. Theor. 48 (7), 1-18, 2015. ISSN: 1751-8113.
   DOI: http://dx.doi.org/10.1088/1751-8113/48/7/075305
   IF: 1.933

6. Sailer, K., **Péli, Z.**, Nagy, S.: Some consequences of the generalized uncertainty principle induced ultraviolet wave-vector cutoff in one-dimensional quantum mechanics.
   Phys. Rev. D. 87 (8), 1-22, 2013. ISSN: 1550-7998.
   DOI: http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.87.084056
   IF: 4.864

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 22,015
A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 11,935

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2018.10.18.