

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Renormálás valós időben

Steib Imola Pálma

Témavezető: Dr. Nagy Sándor



DEBRECENI EGYETEM
Fizikai Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2020.

Készült
a Debreceni Egyetem Elméleti Fizika Tanszékén

Bevezetés

A renormálás alapgondolata szerint nincsenek valódi állandók a fizikában. A világunk más-más arcát mutatja különböző energiaskálákon, például szubatomi szinten vagy kozmológiai távolságokon. A fizika törvényei egy adott skálatartományban érvényesek, és ezen tartományokhoz tartoznak a fizikai állandók. Az állandók értékét mérésekkel adjuk meg, amely függ attól, hogy a mérést milyen energia, idő vagy tömegskálán vizsgáljuk. Ugyan a függés lehet gyenge, de minden mennyiség skálafüggő.

A mikrovilágunk elemi részecskéi közötti rövid hatótávolságú kölcsönhatásait ismertnek tekintük, ezek megfelelő formalizmusban egyszerűnek mondhatók. Az energia csökkentésével (a távolság növelésével) eljuthatunk olyan tartományig, ahol a folyamatok leírására az elemi részek már nem megfelelőek, más, valószínűleg összetett változókat kell bevezetnünk. Felmerülhet a kérdés, hogy megérthetjük-e a makrovilágunk ezen komplexitását a mikrovilág egyszerűségéből kiindulva. Ennek megválaszolására alkalmas eszköz a renormálás, melynek segítségével megérthetjük, hogyan tudunk kapcsolatot teremteni a különböző skálatartományokon érvényes fizika törvények között.

A renormálási csoport módszer egy szisztematikus eszköz arra, hogy egy adott fizikai rendszer nagy energiájú (ultraibolya) tartományból kiindulva, megkapjuk annak az alacsony energián (infravörös) vett tulajdonságait. A renormálási csoport módszerben a szabadsági fokokat a k impulzus (energia) skála szerinti csökkenő sorrendbe rendezzük infinitezimális blokkosítási lépéseken keresztül, és így kapjuk meg a modell alacsony energiás viselkedését. A k skála egyfajta határt képez azon szabadsági fokok között, amelyeket nyomon követünk és amelyeket már nem. A k skála alatti módusokat megfigyeljük, ezek a fizikai rendszerhez tartoznak. A k skála feletti módusokat nem figyeljük meg, ezek alkotják a rendszer környezetét.

Egy blokkosítási lépés felfogható úgy is, hogy az a rendszer módusait transzformálja a környezetbe. Ha a rendszer és a környezet szabadsági fokai összefontak, akkor az elimináció után kevert állapotok jelenhetnek meg. A renormálás eddigi formalizmusa csak a tiszta állapotok járulékával számol. Ez azt mutatja, hogy a módszer hiányos, mert nem számol a kevert állapotok járulékával.

Célkitűzések

Az értekezésem alapjául szolgáló kutatásom célja, hogy a renormálási csoport módszer olyan általánosítását adjam, amely a szokásos tiszta állapotok mellett figyelembe veszi a kevert állapotok járulékát is. Ezen járulékok nagy mértékben megváltoztathatják a módszerrel eddig kapott eredményeket, ezért érdemes az eddig renormálással vizsgált modelleket újraanalizálni. A kevert állapotok járuléka akkor nagy, ha az ultraibolya módusok nem hanyagolhatók el, azaz a nem renormálható elméletekben. A realiztikus modellek (funkcionális értelemben) nem renormálhatóak, ezért effektív modelleknek tekinthetők, amelyekben a renormálás nem számol a kevert állapotokkal, emiatt hiányos eredményt kapunk.

A tradicionális renormálási csoport módszer az átmeneti amplitúdók skála-invarianciáján alapszik. A zárt időtengelyes (CTP) formalizmus segítségével az átmeneti amplitúdó helyett a fizikai mérésekhez közelebb álló várható értékekre kaphatunk összefüggést. A módszerben megjelenik a sűrűségmátrix, ami fontos szerepet játszik a kevert állapotok leírásában. A hagyományos renormálásban nem szerepelnek az összefonódásból származó kevert állapotok. Az összefonott állapotoknak nincs klasszikus fizikai megfelelője. Az általam ismertetett módszer tartalmazza az összefonódásból származó járulékokat. Emiatt, megkülönböztetésül a hagyományos renormálási csoport módszertől, az új módszert kvantum renormálási csoportnak (QRG) neveztem el.

A kvantum renormálási csoportot módszerrel egy egykomponensű skálármodellt vizsgáltam. A környezet és rendszer szabadsági fokok kölcsönhatása csak véges impulzusnál vett vertexek esetén valósul meg, amely megköveteli nemlokális potenciál követését az evolúció során. Zárt időtengely esetén az idő szerepe kitüntetett, az csak valós időben fogalmazható meg. A nemlokalitás és a valós idő az összefonódás leírásának két fontos alappillére. Céлом volt, hogy megértsem, milyen szerepet töltenek be ezek a pilléreknek a renormálásban.

Vizsgáltam nemlokális potenciál szerepét euklideszi egyidőtengelyes modellekben. A szokásos egykomponensű skalártér mellett egy periodikus skalármodellt, a sine-Gordon modellt is analizáltam. Céлом volt a lokális és nemlokális potenciállal kapott eredmények összehasonlítása. A kvantum-elméletek valós idejű megfogalmazása nyitott kérdés, de ebben az irányban is tettem lépéseket. A konform redukált gravitációs elméletben használtam

a valós idejű formalizmust, és kerestem a modell tulajdonságait.

A célkitűzéseim a renormálás olyan problémáira hívják fel a figyelmet, amelyekkel kevesen foglalkoznak. Ennek ellenére azt gondolom, hogy amíg ezekre a kérdésekre nem kapunk megnyugtató választ, addig kérdésessé tehetők a hagyományos renormálási csoport módszerrel kapott eredmények.

Tézispontok

1. A funkcionális renormálási csoport módszert általánosítottam zárt időtengelyes formalizmusban. Levezettem az evolúciós egyenleteket Wegner-Houghton egyenlet keretében Minkowski téridőben. Az éles levágás lehetővé tette a rendszer és környezet módusainak egyértelmű szétválasztását. A 3-dimenziós egykomponensű skalármodellt vizsgáltam. Azt kaptam, hogy modellnek egy szimmetrikus és egy szimmetriasértett fázisa van. Találtam egy nemtriviális nyeregponthoz, amely vezető rendű járulékat ad a bilokális potenciál evolúciójához. Ezzel megmutattam, hogy a nemlokalitás megjelenik az evolúció során. Sikerült megmutatnom, hogy a bilokális potenciálhoz tartozó csatolások zárt időtengelyes formalizmusban vett nemdiagonális elemeiben megjelenik az összefonott állapotok járuléka. Ezen csatolások evolúcióját fa-szinten meghatároztam. Azt a renormálási csoport módszer, ami az összefonott állapotok járulékaival is számol, kvantum renormálási csoport módszernek neveztem [1].
2. Euklideszi téridőben egyidőtengelyes formalizmusban vizsgáltam a 3-dimenziós egykomponensű skalármodellt funkcionális renormálási csoport módszerrel bilokális potenciál mellett. Levezettem a Wegner-Houghton egyenletet a fa-szinten túli hurok korrekciók figyelembe vételével. Meghatároztam a fázisszerkezetet. A szokásos szimmetrikus és szimmetriasértett fázisok mellett találtam a fázistérben olyan régiókat, ahol az evolúció instabilitásra vezet. A modellnek egy gaussi és egy nem triviális nyeregpontja van. Ez utóbbi különbözik a szokásos Wilson-Fisher fixponttól. A bilokális csatolások következtében két releváns csatolást találtam a fixpont közelében. Kiszámoltam a modell alapállapot energiáját szemiklasszikus szinten. Azt kaptam, hogy a szimmetrikus fázis triviális alapállapottal jellemezhető, a szimmetriasértett fázisban pedig homogén és inhomogén alapállapotokat

különböztethetők meg [2].

3. Vizsgáltam a 2-dimenziós bilokális sine-Gordon modellt euklideszi téridőben funkcionális renormálási csoport módszerrel. Megmutattam, hogy a bilokális potenciál és a Wegner-Houghton egyenlet együttes használata segítségével visszkapom a gradiens kifejtéssel kapott eredményeket. Bemutattam, hogy a sine-Gordon modell lokális csatolása beindítja a bilokális csatolás evolúcióját. Visszakaptam a Kosterlitz-Thouless fázisátalakulást jellemző fázisstruktúrát a Coleman ponttal. Feltérképeztem a modell alapállapotát a szemiklasszikus energia számolásával. A szimmetrikus fázis alapállapota triviális. A szimmetriasértett fázisban megjelenik egy homogén alapállapot, amit véges, de konstans tér jellemez. Emellett megjelenik egy inhomogén alapállapot, amelynél a tér periodikus szerkezetű. A homogén és az inhomogén alapállapotú esetet a $\beta^2 = 4\pi$ kritikus hullámszám érték választja el egymástól, ahol a sine-Gordon modell a nemkölcönható Thirring modell bozonizált változatának tekinthető. Ebben a pontban a bilokális csatolások nem fejlődnek, a modell ennél a paraméterértéknél lokálissá válik [3].
4. A konform redukált gravitációs modellt vizsgáltam a funkcionális renormálási csoport módszerrel. A módszert Minkowski téridőben fogalmaztam meg olyan módon, hogy a frekvenciaintegrált külön végeztem el. Meghatároztam a modell fázisszerkezetét. Megtaláltam a modell gaussi fixpontját, ami nyeregpont. Találtam egy további, nem-gaussi fixpontot, amely ultraibolya vonzó volt, emiatt a modell renormálható. Meghatároztam a nem-gaussi fixponthoz tartozó korrelációs hossz kritikus exponensét. A számoláshoz Litim regulátort és az éles levágáshoz tartozó regulátort használtam. Az eredményeket összehasonlítottam az euklideszi téridőben kapottakkal. A Minkowski téridőben kapott eredmények kvalitatív módon megegyeznek az euklideszi téridőben kapott eredményekkel [4]. Számoltam 3-dimenzióban euklideszi téridőben a korrelációs hosszhoz tartozó kritikus exponens olyan gravitációs modell esetén is, amikor a görbület négyzetéhez tartozó csatolást is figyelembe vettem. Azt kaptam, hogy az exponens értéke nem mutat konvergenciát a görbület függvényében [5].

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

- [1] S. Nagy, J. Polonyi, and I. Steib. “Quantum renormalization group”. In: *Phys. Rev. D* 93.2 (2016), p. 025008. DOI: 10.1103/PhysRevD.93.025008. arXiv: 1508.04277 [hep-th].
- [2] S. Nagy, J. Polonyi, and I. Steib. “Euclidean scalar field theory in the bilocal approximation”. In: *Phys. Rev. D* 97.8 (2018), p. 085002. DOI: 10.1103/PhysRevD.97.085002. arXiv: 1801.08171 [hep-th].
- [3] I. Steib and S. Nagy. “Renormalization of the bilocal sine-Gordon model”. In: *Int. J. Mod. Phys. A* 34.21 (2019), p. 1950117. DOI: 10.1142/S0217751X19501173. arXiv: 1812.09008 [hep-th].
- [4] S Nagy, K Sailer, and I Steib. “Renormalization of Lorentzian conformally reduced gravity”. In: *Classical and Quantum Gravity* 36.15 (July 2019), p. 155004. DOI: 10.1088/1361-6382/ab2e20. URL: <https://doi.org/10.1088/1361-6382/ab2e20>.
- [5] S Nagy et al. “Regulator dependence of fixed points in quantum Einstein gravity with R² truncation”. In: *Classical and Quantum Gravity* 35.5 (Jan. 2018), p. 055001. DOI: 10.1088/1361-6382/aaa6ee. URL: <https://doi.org/10.1088/1361-6382/aaa6ee>.

Konferencia előadások

- **Statisztikus Fizikai Nap**
Budapest, 2015. április 10.
Előadás címe: Renormálás valós időben
- **Austrian-Croatian-Hungarian 2015 Meeting (ACHT2015)**
Non-perturbative aspects of Quantum Field Theory
Leibnitz (Austria), 2015. október 7-9.
Előadás címe: Real Time Renormalization
Angol nyelven
- **Helyi TDK Konferencia**
Debrecen, 2015. november 27.
Előadás címe: Kvantum renormálási csoport
1.helyezés
- **Austrian-Croatian-Hungarian 2016 Meeting (ACHT2016)**
Non-perturbative aspects of Quantum Field Theory
Cakovec (Croatia), 2016. október 5-7.
Előadás címe: Renormalization of bilocal potential
Angol nyelven
- **Országos Tudományos Diákköri Konferencia**
Debrecen, 2017. március 16.
Előadás címe: Kvantum renormálási csoport
Magyar nyelven
- **Fizikus Doktoranduszok Konferenciája**
Balatonfenyves, 2017. június 15-18.
Előadás címe: Bilokális potenciál renormálása
Magyar nyelven

- **Austrian-Croatian-Hungarian 2017 Meeting (ACHT2017)**
Non-perturbative aspects of Quantum Field Theory
Zalakaros (Hungary), 2017. szeptember 6-8.
Előadás címe: Renormalization of bilocal potential
Angol nyelven

Poszterek

- **Magyar Fizikus Vándorgyűlés**
Szeged, 2016. augusztus 24-27.
Poszter címe: Bilokális potenciál renormálása
- **8th International Conference on the Exact Renormalization Group (ERG2016)**
Trieste (Italy), 2016. szeptember 19-23.
Poszter címe: Renormalization of bilocal potential
Angol nyelven
- **Functional renormalization group meeting at the IWH**
Heidelberg (Germany), 2017. március 7-10.
Poszter címe: Renormalization of bilocal potential
Angol nyelven
- **Exact Renormalization Group 2018 (ERG2018)**
Paris (France), 2018. szeptember 9-13.
Poszter címe: Renormalization of bilocal potential
Angol nyelven



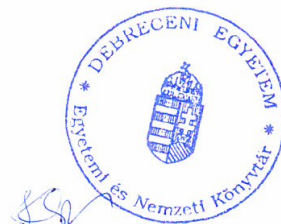
Nyilvántartási szám: DEENK/243/2020.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Steib Imola
Neptun kód: CWQ1LU
Doktori Iskola: Fizikai Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10055319

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (5)

1. Nagy, S., Sailer, K., **Steib, I.**: Renormalization of Lorentzian conformally reduced gravity.
Class. Quantum Gravity. 36 (15), 1-15, 2019. ISSN: 0264-9381.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6382/ab2e20>
IF: 3.071
2. **Steib, I.**, Nagy, S.: Renormalization of the bilocal sine-Gordon model.
Int. J. Mod. Phys. A. 34 (21), 1-17, 2019. ISSN: 0217-751X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1142/S0217751X19501173>
IF: 1.486
3. Nagy, S., Polónyi, J., **Steib, I.**: Euclidean scalar field theory in the bilocal approximation.
Phys. Rev. D. 97 (8), 1-11, 2018. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.97.085002>
IF: 4.368
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: 3.487
5. Nagy, S., Polónyi, J., **Steib, I.**: Quantum renormalization group.
Phys. Rev. D. 93 (2), 1-10, 2016. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.93.025008>
IF: 4.568





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

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 16,98

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
16,98**

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

Debrecen, 2020.08.25.



Short Thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

Real time renormalization

Imola Pálma Steib

Supervisor: Dr. Sándor Nagy



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Doctoral School of Physics

Debrecen, 2020

Prepared at
the Department of Theoretical Physics of the University of Debrecen

Introduction

According to the basic idea of renormalization there are no real constants in physics. Our world is different on different energy scales, such as subatomic levels or cosmological distances. The laws of physics are valid in a given range of scales, and physical constants belong to these ranges. The values of the constants are given by measurements, which depends on the energy, time or mass scale of the measurement. Although, this dependence may be weak, all quantities are scale-dependent.

The short-range interactions between the microparticles of our micro-world are considered to be known, and they can be said to be simple in a proper formalism. By reducing the energy (increasing the distance) we can reach the range where the elementary particles are no longer adequate to describe the processes, and other possibly complex variables need to be introduced. The question may be whether we can understand this complexity of the macro-world from the simplicity of the micro-world. The answer is the renormalization method, which helps us understand how we can connect the laws of physics across different scales.

The renormalization group method is a systematic tool for obtaining low energy (infrared) properties of a given physical system from its high energy (ultraviolet) range. In the renormalization group method, degrees of freedom are ordered in descending order of k momentum (energy) scales through infinitesimal blocking steps to obtain the low energy behavior of the model. The k scale is a kind of boundary between the degrees of freedom that we follow and those that we do not. The modes below the k scale are observed and belong to the physical system. The modes above the k scale are not observed, they belong to the environment of the system.

A blocking step can also be understood to transform the modes of the system into the environment. If the degrees of freedom of the system and the environment entangled, mixed states may appear after the elimination. The traditional formalism of the renormalization only takes into account the contribution of pure states. It shows that the method is incomplete because it does not include the contribution of mixed states.

Goals

The goal of my dissertation is to provide a generalization of the renormalization group method that takes into account the contribution of mixed states in addition to the usual pure states. These contributions can significantly change the previous results, so it is worth to reanalyze the models. The contribution of mixed states is significant if ultraviolet modes are not neglected, that is, in non-renormalizable theories. The contributions of mixed states are significant if ultraviolet modes are not neglected, namely in the non-renormalized theories. In these models, renormalization does not take into account mixed states, they are not suitable to find the correct results.

The traditional renormalization group method is based on the scale invariance of transition amplitude. Closed time path (CTP) formalism allows us to the physically more relevant expectation values instead of the transition amplitude. The method contains the density matrix, which plays an important role in the description of the mixed states. The traditional renormalization method does not include mixed states which are derived by the entanglement. There are no classical physical counterparts of entanglement states. The method I have emphasized includes the contributions of the entanglement. In contrast to the traditional formalism, I have referred to the method as the quantum renormalization group (QRG) method.

I have investigated the one-component scalar model obtained by the QRG analysis. The interaction of the degrees of freedom of the environment and the system can be realized only with finite momentum vertices, which requires the introduction of the bilocal potential. In the case of closed time path formalism, the role of time is important, the using of real-time formalism is necessary. Nonlocality and real-time formalism are two important parts of describing the entanglement. My goal was to understand the role of these parts in the renormalization method.

I have examined the role of nonlocal potential in the Euclidean single time path models. In addition to the usual one-component scalar model, I have also analyzed a periodic scalar model, the sine-Gordon model. My goal was to compare the results obtained with local and nonlocal potential. The real-time formulation of quantum theories is an open-ended question, and I have taken positive steps to answer it. In conformally reduced gravity theory, I have worked with real-time formalism and I have examined the properties

of the model. However, I think that until we get an appropriate response to these questions, the results obtained by the traditional renormalization group method can be arguable.

Thesis Points

1. I have generalized the functional renormalization group method in closed time path formalism. I have derived the evolution equations in the framework of the Wegner-Houghton equation in Minkowski spacetime. The sharp cut allowed the clear separation of system and environment modes. I have examined the 3-dimensional one-component scalar model. I have found that the model has a symmetric and a broken symmetric phase, and a non-trivial saddle point that provides a leading-order contribution to the evolution of bilocal potential. I have presented that nonlocality appears during the evolution. I have also presented that in the non-diagonal elements of the couplings belonging to the bilocal potential, in closed time path formalism, appear the contribution of entanglement states. At tree level I have determined the evolution of these couplings. I have referred to the method which also takes into account the contribution of entanglement states, as the quantum renormalization group (QRG) method [1].
2. I have examined the 3-dimensional one-component scalar model in single time path Euclidean spacetime formalism using a functional renormalization group method with bilocal potential. I have derived the Wegner-Houghton equation by considering the loop corrections. I have presented the phase diagram of the model. Beyond the usual symmetric and broken symmetric phases, I have found regions in the phase space where evolution leads to instability. The model has a Gaussian and a non-trivial saddle point, which is different from the usual Wilson-Fisher fixed point. As a result of the bilocal couplings, I have found two relevant couplings near the fixed point. I have calculated the ground state energy of the model at the semiclassical level. I have found that the symmetric phase can be characterized by a trivial ground state, and the broken symmetric phase can be characterized by homogeneous and inhomogeneous ground states [2].

3. I have examined the 2-dimensional bilocal sine-Gordon model using the functional renormalization group method in Euclidean space-time. I have presented that by using of the bilocal potential and the Wegner-Houghton equation together the results obtained by gradient expansion can be recovered. I have shown that the bilocal coupling starts to evolve by the evolution of local coupling of the sine-Gordon model. I have regained the phase structure characteristic of the Kosterlitz-Thouless phase transition with the Coleman point. I have examined the ground state by calculating semiclassical energy. The ground state of the symmetric phase is trivial. In the broken symmetric phase, a homogeneous ground state appears, characterized by a finite but constant space. An inhomogeneous ground state appears, where the space has a periodic structure. The homogeneous and inhomogeneous ground state cases are separated by the $\beta^2 = 4\pi$ critical value, where the sine-Gordon model is considered to be the bosonized version of the non-interacting Thirring model. At this point, the bilocal couplings do not evolve and the model becomes local at this parameter value [3].

4. I have examined the conformally reduced gravity model using the functional renormalization group method. I have used the Wegner-Houghton equation. I have determined the method in Minkowski spacetime by performing the frequency integral separately. I have determined the phase structure of the model. I have found the Gaussian fixed point of the model, which is the saddle point. I have found another non-Gaussian fixed point which is ultraviolet attractive fixed point, making the model renormalizable. I have determined the critical exponent of the correlation length of the non-Gaussian fixed point using the Litim regulator and sharp cut-off regulator. I have compared the results with those which were obtained in the Euclidean spacetime. The Minkowski spacetime results are qualitatively equivalent to the Euclidean spacetime results [4]. I have calculated the critical exponent of the correlation length in 3-dimensional Euclidean space even in the case of a gravitational model, when the coupling to the quadratic term of curvature was also considered. I have found that the value of the exponential does not show convergence as a function of the curvature [5].

List of publications related to the dissertation

- [1] S. Nagy, J. Polonyi, and I. Steib. “Quantum renormalization group”. In: *Phys. Rev. D* 93.2 (2016), p. 025008. DOI: 10.1103/PhysRevD.93.025008. arXiv: 1508.04277 [hep-th].
- [2] S. Nagy, J. Polonyi, and I. Steib. “Euclidean scalar field theory in the bilocal approximation”. In: *Phys. Rev. D* 97.8 (2018), p. 085002. DOI: 10.1103/PhysRevD.97.085002. arXiv: 1801.08171 [hep-th].
- [3] I. Steib and S. Nagy. “Renormalization of the bilocal sine-Gordon model”. In: *Int. J. Mod. Phys. A* 34.21 (2019), p. 1950117. DOI: 10.1142/S0217751X19501173. arXiv: 1812.09008 [hep-th].
- [4] S Nagy, K Sailer, and I Steib. “Renormalization of Lorentzian conformally reduced gravity”. In: *Classical and Quantum Gravity* 36.15 (July 2019), p. 155004. DOI: 10.1088/1361-6382/ab2e20. URL: <https://doi.org/10.1088/1361-6382/ab2e20>.
- [5] S Nagy et al. “Regulator dependence of fixed points in quantum Einstein gravity with R 2 truncation”. In: *Classical and Quantum Gravity* 35.5 (Jan. 2018), p. 055001. DOI: 10.1088/1361-6382/aaa6ee. URL: <https://doi.org/10.1088/1361-6382/aaa6ee>.

Talks

- **Statistical Physics Day**
Budapest, 10 April 2015.
Giving a talk: Real Time Renormalization (in Hungarian)
- **Austrian-Croatian-Hungarian 2015 Meeting (ACHT2015)**
Non-perturbative aspects of Quantum Field Theory
Leibnitz, 7-9 October 2015
Giving a talk: Real Time Renormalization
- **Scientific Students' Associations**
Debrecen, 27 November 2015
Quantum renormalization group (in Hungarian) 1st place.
- **Austrian-Croatian-Hungarian 2016 Meeting (ACHT2016)**
Non-perturbative aspects of Quantum Field Theory
Cakovec (Croatia), 5-7 October, 2016
Giving a talk: Renormalization of bilocal potential
- **National Conference of Scientific Students' Associations**
Debrecen, 16. March 2017
Quantum renormalization group (in Hungarian)
- **Conference of Doctoral Students in Physics**
Balatonfenyves, 15-18 June 2017
Giving a talk: Renormalization of bilocal potential
- **Austrian-Croatian-Hungarian 2017 Meeting (ACHT2017)**
Non-perturbative aspects of Quantum Field Theory
Zalakaros (Hungary), 6-8 September 2017
Giving a talk: Renormalization of bilocal potential

Posters

- **Conference of Hungarian Physicists**
Szeged, 24-27 August, Poster: Renormalization of bilocal potential
(in Hungarian)
- **8th International Conference on the Exact Renormalization Group (ERG2016)**
Trieste (Italy), 19-23 September 2016.
Poster: Renormalization of bilocal potential
- **Functional renormalization group meeting at the IWH**
Heidelberg (Germany), 7-10 March 2017.
Poster: Renormalization of bilocal potential
- **Exact Renormalization Group 2018 (ERG2018)**
Paris (France), 9-13 Sept 2018.
Poster: Renormalization of bilocal potential



Registry number:
Subject:

DEENK/243/2020.PL
PhD Publikációs Lista

Candidate: Imola Steib

Neptun ID: CWQ1LU

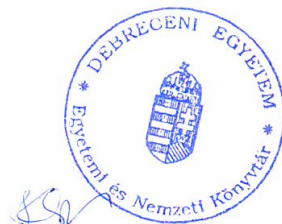
Doctoral School: Doctoral School of Physics

MTMT ID: 10055319

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (5)

1. Nagy, S., Sailer, K., **Steib, I.**: Renormalization of Lorentzian conformally reduced gravity.
Class. Quantum Gravity. 36 (15), 1-15, 2019. ISSN: 0264-9381.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6382/ab2e20>
IF: 3.071
2. **Steib, I.**, Nagy, S.: Renormalization of the bilocal sine-Gordon model.
Int. J. Mod. Phys. A. 34 (21), 1-17, 2019. ISSN: 0217-751X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1142/S0217751X19501173>
IF: 1.486
3. Nagy, S., Polónyi, J., **Steib, I.**: Euclidean scalar field theory in the bilocal approximation.
Phys. Rev. D. 97 (8), 1-11, 2018. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.97.085002>
IF: 4.368
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: 3.487
5. Nagy, S., Polónyi, J., **Steib, I.**: Quantum renormalization group.
Phys. Rev. D. 93 (2), 1-10, 2016. ISSN: 2470-0010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.93.025008>
IF: 4.568





**UNIVERSITY of
DEBRECEN**

**UNIVERSITY AND NATIONAL LIBRARY
UNIVERSITY OF DEBRECEN**

H-4002 Egyetem tér 1, Debrecen

Phone: +3652/410-443, email: publikaciok@lib.unideb.hu

Total IF of journals (all publications): 16,98

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 16,98

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

25 August, 2020



