慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	Quantum vacuum effects, symmetry breaking and gravity
Sub Title	
Author	Flachi, Antonino
Publisher	
Publication year	2022
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2021.)
JaLC DOI	
Abstract	このプロジェクトで研究している一般的な分野は、非自明な背景における量子真空構造の特徴を明らかにすることを主な目標としています。我々の研究の関連性は理論的なものであるが、グラフェン、一般的なCasimir設定、および他の凝縮系などの系への応用にとって重要である。この要約は、欠陥のあるグラフェンにおける対称性の破れの研究、ブラックホール空間における真空分極効果の研究、有効作用形式とゼータ関数正則化を用いた有限温度・密度における非線形シグマモデルの研究、相互作用の存在するカシミール効果の研究、回転の存在する相互作用量子場の研究など、主な成果に限定される。 The general area investigated within this project has as main goal the characterization of the quantum vacuum structure in non-trivial backgrounds. The relevance of our studies is theoretical but important for applications to systems such as graphene, general Casimir setups, and other condensed matter systems. Limiting this summary to the main results, these are: the study of symmetry breaking in graphene with defects; the study of vacuum polarization effects in black hole spacetimes; the study of nonlinear sigma models at finite temperature and density using the effective action formalism and zeta-function regularization; the study of the Casimir effect in the presence of interactions; the study of interacting quantum fields in the presence of rotation. Within this project, we have delivered several presentations and co-organized various international conferences, one of which ("avenues of quantum field theory in curved space") is now at its third edition.
Notes	研究種目：基盤研究 (C) (一般) 研究期間：2018～2021 課題番号：18K03626 研究分野：theoretical physics, quantum field theory
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_18K03626seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　４ 年　 ６ 月　 １ 日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2018～2021
課題番号：１８Ｋ０３６２６

研究課題名（和文）Quantum vacuum effects, symmetry breaking and gravity

研究課題名（英文）Quantum vacuum effects, symmetry breaking and gravity

研究代表者
フラキ　アントニノ（Flachi, Antonino）

慶應義塾大学・商学部（日吉）・准教授

研究者番号：２０４４４４７４

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　2,400,000円

研究成果の概要（和文）：このプロジェクトで研究している一般的な分野は、非自明な背景における量子真空構造の特徴を明らかにすることを主な目標としています。我々の研究の関連性は理論的なものであるが、グラフェン、一般的なCasimir設定、および他の凝縮系などの系への応用にとって重要である。この要約は、欠陥のあるグラフェンにおける対称性の破れの研究、ブラックホール空間における真空分極効果の研究、有効作用形式とゼータ関数正則化を用いた有限温度・密度における非線形シグマモデルの研究、相互作用の存在するカシミール効果の研究、回転の存在する相互作用量子場の研究など、主な成果に限定される。

研究成果の学術的意義や社会的意義
The research developed within this project is important to understand how certain features (eg, the shape of a material and other external conditions like temperature or density) can alter its properties. Knowledge of such effects may indicate ways to use these materials in applications.

研究成果の概要（英文）：The general area investigated within this project has as main goal the characterization of the quantum vacuum structure in non-trivial backgrounds. The relevance of our studies is theoretical but important for applications to systems such as graphene, general Casimir setups, and other condensed matter systems. Limiting this summary to the main results, these are: the study of symmetry breaking in graphene with defects; the study of vacuum polarization effects in black hole spacetimes; the study of nonlinear sigma models at finite temperature and density using the effective action formalism and zeta-function regularization; the study of the Casimir effect in the presence of interactions; the study of interacting quantum fields in the presence of rotation. Within this project, we have delivered several presentations and co-organized various international conferences, one of which ("avenues of quantum field theory in curved space") is now at its third edition.

研究分野：theoretical physics, quantum field theory

キーワード：quantum fields　symmetry breaking　quantum vacuum　Casimir effect　effective action　curved space

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

The underlying theme of the project has been the investigation of quantum vacuum effects and in the presence of external conditions and interactions. How quantum vacuum effects depend on background geometry, rotation, and symmetry breaking did not have clear and definitive answers and these were the principal issues that our research aimed at investigating. From the point of view of physics, such problems are important for the Casimir effect, where simply formulated issues, such as how the sign of the quantum vacuum induced force depends on the boundary conditions and the underlying quantum field theory have been and still are not clarified. Similar questions are of relevance beyond Casimir physics, rather these apply to any quantum field theory where boundary conditions, interactions, and other external conditions affect quantum vacuum phenomena.

２．研究の目的

The purpose of our project has been to better understand the nature of the quantum vacuum in more realistic situations involving gravity and symmetry breaking, as well as exploring paths that could indicated possible applications of quantum field theory in curved space to previously unexplored domains. Concretely, within the project the overarching theme has been to study the behavior of the quantum vacuum in theories featuring symmetry breaking. The logic behind has been related to the fact that when symmetry breaking occurs, a mass is generated for some degrees of freedom and usually a mass suppresses the quantum induced force. Because of this reason, being able to control how symmetry breaks (that we know how to do using external factors such as temperature and, as argued in my research, geometry), one could in principle investigate ways to suppress the quantum vacuum force.

３．研究の方法

The research method used throughout the project has involved analytical techniques used in quantum field theory in curved space and spectral geometry (e.g., analytic zeta-function regularization, heat-kernel techniques, resummation methods in curved space, complex analysis). The work has also required a substantial amount of numerical calculations that have been addressed using computer based simulations.

４．研究成果

The most important lines and results of the project had to do with applications to graphene, to the Casimir effect, and to systems of relevance in condensed matter physics (in particular cold atoms) within models featuring symmetry breaking.

Research in the context of graphene has indicated how the mass gap in graphene can be altered by deformation of the topology and temperature of the graphene lattice, and how this can be achieved by a clever use of defects in combination with thermal effects. This was the simplest example of the sort, but it clearly suggests how to model the mass gap in graphene using lattice deformations.

The second line of research has explored the Casimir effect in theories with interactions. A particularly interesting result has been the discovery of a connection between the Casimir force and the Coleman-Hoenberg-Mermin-Wagner theorem, and of the clarification that it provides in relation to how symmetry breaking alters the Casimir force.

An extensive analysis of CP-n models, relevant to condensed matter as well as particle physics, has also been performed within this project, which clarified how combining boundary conditions, finite density and finite temperature effects require a new approach based on the effective action in order to properly describe quantum effects. Several special cases have been studied.

Further research has focused on the role of rotation in interacting quantum field theories. In particular we have analyzed non-relativistic systems in the presence of rotation when finite size effects are included. This work has indicated interesting connections to cold atomic systems.

Finally, additional research has explored the role of quantum vacuum effects around black holes within the overarching theme of theories featuring symmetry breaking.

Within this project we have started an international workshop series, “Avenues of quantum field theory in curved space”. This year the workshop will be at its third edition.

All publications acknowledging the project have been indicated in the relevant sections of the project. Most of the research carried out within this project has been carried out in collaboration with international researchers outside of Japan, as well as with Japan-based researchers.

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計8件（うち査読付論文　7件／うち国際共著　7件／うちオープンアクセス　6件）

１．著者名 Antonino Flachi	４．巻 102
２．論文標題 Remarks on the large-N CP(N−1) model	５．発行年 2020年
３．雑誌名 PHYSICAL REVIEW D	６．最初と最後の頁 250041-2500410
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevD.102.025004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 −

１．著者名 Antonino Flachi and Vincenzo Vitagliano	４．巻 99 (12)
２．論文標題 Symmetry breaking and lattice kirigami: finite temperature effects	５．発行年 2019年
３．雑誌名 Physical Review D	６．最初と最後の頁 1250101-1250109
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevD.99.125010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

１．著者名 Antonino Flachi, Guglielmo Fucci, Muneto Nitta, Satoshi Takada, and Ryosuke Yoshii	４．巻 100(8)
２．論文標題 Ground state modulations in the CP(N−1) model	５．発行年 2019年
３．雑誌名 Physical Review D	６．最初と最後の頁 0850061-0850068
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevD.100.085006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

１．著者名 Antonino Flachi and Vincenzo Vitagliano	４．巻 C. Ser. 1275
２．論文標題 Cosmic strings, deformed lattices and spontaneous symmetry breaking	５．発行年 2019年
３．雑誌名 Journal of Physics (2019) no.1, 012030	６．最初と最後の頁 0120301-0120305
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1742-6596/1275/1/012030	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1．著者名 A. Flachi, M. Nitta, S. Takada, and R. Yoshii, .	4．巻 798
2．論文標題 Remarks on the large-N CP(N-1) model	5．発行年 2019年
3．雑誌名 Physics Letters B	6．最初と最後の頁 1349991-1349996
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2019.134999	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1．著者名 G. Quinta, A. Flachi and J. Lemos	4．巻 -
2．論文標題 Spontaneously broken symmetry restoration of quantum fields in the vicinity of neutral and electrically charged black holes	5．発行年 2018年
3．雑誌名 JHEP (accepted for publication)	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1．著者名 E. Castro, A. Flachi (1st author), P. Ribeiro, V. Vitagliano	4．巻 121
2．論文標題 Symmetry Breaking and Lattice Kirigami	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Physical Review Letters	6．最初と最後の頁 2216011-2216016
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.121.221601	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1．著者名 G. Quinta, A. Flachi and J. Lemos	4．巻 97
2．論文標題 Quantum vacuum polarization around a Reissner-Nordstrom black hole in five dimensions	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Physical Review D	6．最初と最後の頁 0250231-250236
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevD.97.025023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕　計9件（うち招待講演　3件／うち国際学会　6件）

1．発表者名 Antonino Flachi
2．発表標題 Perspectives on the CPn model
3．学会等名 Invited Webinar (Webinar series, University of Modena, Italy)（招待講演）
4．発表年 2020年

1．発表者名 Antonino Flachi
2．発表標題 Effective action and phase scan of the CP-(N-1) model
3．学会等名 2019 Japanese Physical Society Meeting, Yamagata（国際学会）
4．発表年 2019年

1．発表者名 Antonino Flachi
2．発表標題 Effective action approach to the CP^N model at finite size
3．学会等名 CP(N) model: recent developments and future directions（招待講演）
4．発表年 2020年

1．発表者名 Antonino Flachi
2．発表標題 More on the phases of the C(N-1) model
3．学会等名 2020 Japanese Physical Society Meeting, Nagoya（国際学会）
4．発表年 2020年

１．発表者名
Antonino Flachi

２．発表標題
Introductory remarks

３．学会等名
Avenues of Quantum field theory in curved space, University of Modena, Italy（招待講演）

４．発表年
2019年

１．発表者名
Antonino Flachi

２．発表標題
Toying with symmetry breaking in curved spacetime

３．学会等名
Japanese General Relativity and Gravity (JGRG28)（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名
Antonino Flachi

２．発表標題
Symmetry breaking in 2D deformed lattices

３．学会等名
Fifteenth Marcel Grossmann Meeting (MG15)（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名
Antonino Flachi

２．発表標題
Symmetry breaking in curved graphene

３．学会等名
73rd JPS meeting（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名 Antonino Flachi
２．発表標題 Symmetry breaking and geometry
３．学会等名 74th JPS meeting（国際学会）
４．発表年 2019年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

―

６．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考

７．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

８．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関