

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05327

研究課題名(和文) 共形不変なヒッグス重力理論について

研究課題名(英文) Conformally invariant Higgs gravity

研究代表者

小田 一郎 (ODA, Ichiro)

琉球大学・理学部・教授

研究者番号：40265517

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：スイスのジュネーブ郊外に建設され、2008年より稼働したCERNのLHC(Large Hadron Collider)において、2012年にヒッグス粒子が発見された。この発見により、素粒子物理学の標準理論の正しさが最終的に確認され、2013年にヒッグスとアンゲルールはノーベル物理学賞を受賞した。その後、ヒッグス粒子以外の新素粒子は発見されず、電弱エネルギースケールに標準理論があって、プランクエネルギーにおいて量子重力理論が支配的になるという物理的なシナリオが優勢になってきている。我々は、共形不変性を指導原理をして、共形不変な量子重力理論を構成し、その物理的な性質を詳細に調べた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の素粒子物理学には未解決の多くの問題が存在する。2013年にジュネーブ郊外にあるLHCでヒッグス粒子が発見され、素粒子の標準模型の正しさが証明された。しかし、この理論を用いても理解できない問題、例えば、暗黒物質や暗黒エネルギーの起源や物理的な性質、が存在する。そのために標準理論を超える理論の構築が必要とされている。我々は、共形不変性という対称性を指導原理として採用し、色々な量子重力理論を構成し、その物理的な性質を明らかにした。特に、暗黒物質や階層性の問題の解決に取り組んだ。

研究成果の概要(英文)：In 2008, at the CERN in the suburb of Geneva in Switzerland, the LHC (Large Hadron Collider) started to run, and in 2012 the Higgs particle was discovered, thereby certifying eventually the correctness of the Standard Model of elementary particles. Consequently, in 2013, Dr. Higgs and Dr. Englert have won the Nobel Prize of Physics. After that, however, in spite of intensive experiments searching for new elementary particles except the Higgs particle, there is no evidence of the discovery of them so far. Some people therefore start to conjecture seriously that at the electroweak scale we have the standard Model and at the Planck energy scale quantum gravity becomes dominant. In our works, we have constructed various models of quantum gravity by taking the conformal symmetry as the fundamental principle, and then investigated many of physical properties of our models.

研究分野：素粒子の理論物理学

キーワード：量子重力 共形不変性 暗黒物質 階層性の問題

1. 研究開始当初の背景

2013年3月、CERN(欧州原子核研究機構)で稼動している世界最大の衝突型円型加速器LHC(Large Hadron Collider)において、標準模型の中で最後まで未発見のまま残された素粒子、ヒッグス粒子、が発見され、素粒子の標準理論(SM)が完全に立証された。興味深いことに、観測されたヒッグス粒子は約125GeVの質量の大きさを持つことが分かったが、この値は従来予想されていた質量の範囲の下限近傍にあり、大分小さい。そのために、この質量の大きさとトップ・クォークの質量の大きさ(約173GeV)を用いて、繰り込み群を使って、我々の宇宙の真空の安定性を計算してみると、真空は完全には安定ではないが、その寿命は現在の宇宙の年齢(約137億年)に比べて大きいので、擬似的な安定状態にあることが分かった。

また、LHCの実験の目的は、ヒッグス粒子に加えて、当時、理論的に存在が予想されていた超対称性粒子を発見することであった。しかし、8TeV(1TeV = 10^3 GeV)以下には超対称性粒子はおろか、その痕跡さえ発見されていない実験事実を考慮すると、超対称性理論の正当性に疑問が投げかけられていると言っても過言ではない。

以上の考察を踏まえると、標準理論をプランクエネルギー(10^{18} GeV)で成り立つ理論に結びつけるようなシナリオを考えることは自然である。そのとき、ヒッグス粒子の質量の大きさや宇宙項などの未解決の問題を説明するためには、新しい物理的な指導原理に基づいて、「標準模型を超える理論(BSM)」を構築していかなければならない。

2. 研究の目的

2013年3月、CERN(欧州原子核研究機構)で稼動している世界最大の衝突型円型加速器LHC(Large Hadron Collider)において、標準模型の中で最後まで未発見のまま残された素粒子、ヒッグス粒子、が発見され、素粒子の標準理論(SM)が完全に立証された。興味深いことに、観測されたヒッグス粒子は約125GeVの質量の大きさを持つことが分かったが、この値は従来予想されていた質量の範囲の下限近傍にあり、大分小さい。そのために、この質量の大きさとトップ・クォークの質量の大きさ(約173GeV)を用いて、繰り込み群を使って、我々の宇宙の真空の安定性を計算してみると、真空は完全には安定ではないが、その寿命は現在の宇宙の年齢(約137億年)に比べて大きいので、擬似的な安定状態にあることが分かった。

また、LHCの実験の目的は、ヒッグス粒子に加えて、当時、理論的に存在が予想されていた超対称性粒子を発見することであった。しかし、8TeV(1TeV = 10^3 GeV)以下には超対称性粒子はおろか、その痕跡さえ発見されていない実験事実を考慮すると、超対称性理論の正当性に疑問が投げかけられていると言っても過言ではない。

以上の考察を踏まえると、標準理論をプランクエネルギー(10^{18} GeV)で成り立つ理論に結びつけるようなシナリオを考えることは自然である。そのとき、ヒッグス粒子の質量の大きさや宇宙項などの未解決の問題を説明するためには、新しい物理的な指導原理に基づいて、「標準模型を超える理論(BSM)」を構築していかなければならない。

3. 研究の方法

コンフォーマル不変な標準理論と局所スケール不変な重力理論を結合させた新しい理論を構成し、素粒子物理学や宇宙物理学の未解決な問題、特に、ゲージ階層性、宇宙項、インフレーション、重力波のBモード、暗黒物質、真空解の安定性、コンフォーマル不変な正則化と繰り込み、強いCPの破れ、ニュートリノの質量などの重要な問

題を考察し、解決したい。

4 . 研究成果

スイスのジュネーブ郊外に建設され、2008年より稼働した CERN の LHC(Large Hadron Collider)において、2012年にヒッグス粒子が発見された。この発見により、素粒子物理学の標準理論の正しさが最終的に確認され、2013年にヒッグスとアンダレーはノーベル物理学賞を受賞した。その後、ヒッグス粒子以外の新素粒子は発見されず、電弱エネルギースケールに標準理論があつて、プランクエネルギーにおいて量子重力理論が支配的になるという物理的なシナリオが優勢になってきている。我々は、共形不変性を指導原理をして、共形不変な量子重力理論を構成し、その物理的な性質を詳細に調べた。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 14 件)

1. “Planck and Electroweak Scales Emerging from Conformal Gravity”, Ichiro Oda, The European Physical Journal C 78 (2018) 798, DOI: 10.1140/epjc/s10052-018-6289-8.
2. “More on Weinberg’s no-go Theorem in Quantum Gravity”, Munehiro Nagahama and Ichiro Oda, Physical Review D 97 (2018) 104043, DOI: 10.1103/PhysRevD.97.104043
3. “Cosmic Acceleration in the Nonlocal Approach to the Cosmological Constant Problem”, Ichiro Oda, The European Physical Journal C 78 (2018) 294, DOI: 10.1140/epjc/s10052-018-5780-6.
4. “Gravitational Quantum Effects and Nonlocal Approach to the Cosmological Constant Problem”, Ichiro Oda, Advanced Studies in Theoretical Physics 11 (2017) 731-745, DOI: 10.12988/astp.2017.71153.
5. “Weinberg’s No Go Theorem in Quantum Gravity”, Ichiro Oda, Physical Review D 96 (2017) 124012, DOI: 10.1103/PhysRevD.96.124012.
6. “Quantum Aspects of Nonlocal Approach to the Cosmological Constant Problem”, Ichiro Oda, Physical Review D 96 (2017) 024027, DOI: 10.1103/PhysRevD.96.024027.
7. “Manifestly Local Formulation of Nonlocal Approach to the Cosmological Constant Problem”, Ichiro Oda, Physical Review D 95 (2017) 104020, DOI: 10.1103/PhysRevD.95.104020.
8. “Classical Weyl Transverse Gravity”, Ichiro Oda, The European Physical Journal C 77 (2017) 284, DOI: 10.1140/epjc/s10052-017-4843-4.
9. “Schwarzschild Solution from Weyl Transverse Gravity”, Ichiro Oda, Modern Physics Letters A 32 (2017) 1750022, DOI: 10.1142/S0217732317500225.
10. “Topological Induced Gravity”, Ichiro Oda, International Journal of Modern Physics D 26 (2017) 1750023, DOI: 10.1142/S0218271817500237.
11. “Fake Conformal Symmetry in Unimodular Gravity”, Ichiro Oda, Physical Review D 94 (2016) 044032, DOI: 10.1103/PhysRevD.94.044032.
12. “Cosmology in Weyl Transverse Gravity”, Ichiro Oda, Modern Physics Letters A 31 (2016) 1650218, DOI: 10.1142/S02177323165021874.
13. “Reissner-Nordstrom Solution from Weyl Transverse Gravity”, Ichiro Oda, Modern Physics Letters A 31 (2016) 1650206, DOI: 10.1142/S0217732316502060.

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

14. “Induced Gravity and Topological Quantum Field Theory”, Ichiro Oda,
Advanced Studies in Theoretical Physics 10 (2016) 319-329,
DOI: 10.12988/astp.2016.6522.

〔学会発表〕(計 2 件)

1. “Planck and Electroweak Scales Emerging from Weyl Conformal Gravity”, Ichiro Oda, Workshop on Standard Model and Beyond, 31 August-9 September, 2018, Corfu Summer Institute, Greece
2. “Cosmological constant problem and nonlocal approaches”, Ichiro Oda, The Beauty of Theory-Mario Tonin Memorial Conference, 8 September, 2017, Padova University, Italy

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者 なし

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2)研究協力者 なし

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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、研究者個人に帰属されます。