

平成 30 年 8 月 28 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13487

研究課題名(和文) インスタントン効果の顕在化

研究課題名(英文) Manifestation of instanton effects

研究代表者

本間 謙輔 (Homma, Kensuke)

広島大学・理学研究科・助教

研究者番号：40304399

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：周期的境界条件によって生ずるトポロジカルに縮退した真空状態を真空と呼び、インスタントンは異なる巻き付き量子数間のトンネル遷移として解釈される。真空の存在は、QCDのU(1)問題を解決する上で理論上必要とされ、かつ、QCDラグランジアンを解釈付けるアクシオン場導入の背景としても必須となる。しかし、真空は解釈のために導入されたという意味で依然として形而上的であり、その物理的実存性が実験的に顕在化できているとは言い難い。そこで真空の物理的実存性を示すために、インスタントン効果の本質を顕在化させるための実験を試みた。

研究成果の概要(英文)：The theta vacuum is known as a state of a degenerate vacuum characterized by its topological nature, the winding number, due to periodic boundary conditions. Instanton is understood as a tunneling transition in between different winding numbers. The theta vacuum is theoretically necessary to resolve the U(1) problem of QCD and also to interpret the CP invariance of the QCD Lagrangian by introducing a hypothetical particle, axion. However, the concept of the theta vacuum is still metaphysical and its physical existence has not been manifestly demonstrated to date. Therefore, we tried to phenomenologically actualize the essence of instanton in the laboratory experiment.

研究分野：素粒子原子核実験

キーワード：強い相互作用

1. 研究開始当初の背景

これまで素粒子実験が探求してきた真空構造の解明においては、ヒッグス機構等、そのポテンシャル中での摂動的な振る舞いに主眼を置いてきた。一方、ポテンシャルが周期関数の場合、ソリトン解があり得る。ソリトン解が成立するためには、縮退した複数の真空状態が必要となる。この縮退度を巻き付き数  $n$  と定義し、特に4次元ユークリッド時空においては静的なソリトン解、インスタントンの存在が予言されている。この周期条件によって生ずるトポロジカルに縮退した真空状態を真空と呼び、インスタントンは異なった巻き付き量子数間のトンネル遷移として解釈される。真空の存在は、QCDのU(1)問題を解決する上で理論上必要とされ、かつ、QCDラグランジアン CP不変性を解釈付けるアクシオン場導入の背景としても必須となる。しかし、真空は解釈のために導入されたという意味で依然として形而上的であり、その物理的実存性が実験的に顕在化できているとは言い難い。これは、アハラノフ=ボーム効果が実験的に検証される以前の電磁気学におけるベクトルポテンシャルの物理的実存性の真偽に例えられよう。そこで真空の物理的実存性を示すために、インスタントン効果の本質を顕在化させるための実験を着想した。

2. 研究の目的

真空の実存性を示す現象を探ることを目的とした。

3. 研究の方法

4. 研究成果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 7 件)

[1] **Probing vacuum birefringence under a high-intensity laser field with gamma-ray polarimetry at the GeV scale**

Yoshihide Nakamiya and Kensuke Homma\*, Phys. Rev. D96 (2017) no.5, 053002 査読有

[2] **Exploring pseudo-Nambu-Goldstone bosons by stimulated photon colliders in the mass range 0.1 eV to 10 keV**

Kensuke Homma\* and Yuichi Toyota, Prog. Theor. Exp. Phys. 2017 (2017) no.6, 063C01 査読有

[3] **Report on OPIC Light Driven Nuclear-Particle**

**physics and Cosmology (LNPC'17)**

Kensuke Homma\*,

レーザー学会誌レーザー研究 2017年10月 第45巻第10号 662-663. 査読無

[4] **Combined Laser Gamma Experiments at ELI-NP**

K. Homma, O. Tesileanu, L. D'Alessi, T. Hasebe, A. Ilderton, T. Moritaka, Y. Nakamiya, K. Seto, H. Utsunomiya, Y. Xu,

Romanian Reports in Physics, Vol. 68, Supplement, P. S233-S274, 2016 査読有

[5] **超高強度レーザー場を用いた宇宙暗黒場の探索**  
**本間謙輔**

月刊OPTRONICS 2016年7月号 35-39 査読無

[6] **Testing helicity-dependent  $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$  scattering in the region of MeV**

Kensuke Homma\*, Kayo Matsuura, Kazuhisa Nakajima, Prog. Theor. Exp. Phys. 2016 (2016) 1, 013C01 査読有

[7] **Search for sub-eV scalar and pseudoscalar resonances via four-wave mixing with a laser collider**

Takashi Hasebe, Kensuke Homma\*, Yoshihide Nakamiya, Kayo Matsuura Kazuto Otani, Masaki Hashida, Shunsuke Inoue, Shuji Sakabe,

Prog. Theor. Exp. Phys. 2015 (2015) 7, 073C01 査読有

[学会発表](計 16 件)

[1] **インスタントン顕在化の試み**

本間謙輔, 平原祐輔, 豊田雄一, 井上俊介, 橋田昌樹, 阪部周二, 中宮義英, 日本物理学会第73回年次大会 (一般講演 2018.3.25)

[2] **Searches for pseudo Nambu-Goldstone Bosons by stimulated resonant photon-photon scatterings with high-intensity laser fields**, Kensuke Homma, 1st workshop on Phenomenology for Particle and Anti-Particle 2018 (PPAP2018) (招待公演 2018.3.7)

[3] **レーザーが拓く素粒子・宇宙論的科学**

本間謙輔, 阪部周二他, レーザー学会学術

講演会第 38 回年次大会 (招待講演  
2018.01.24)

**[4]高強度レーザー場を用いた真空構造への  
多角的アプローチ**

本間謙輔, 第 7 回 日大理工・益川塾連携  
素粒子物理学シンポジウム

(招待講演 2017.11.04)

**[5] 高強度レーザー場衝突を用いた誘導共鳴  
散乱による暗黒場探索**

本間謙輔, 金沢ダークマター研究会, 金沢歌  
舞伎座 (招待講演 2017.10.03)

**[6] Search for new physics using high-intensity  
laser fields,**

K. Homma, Workshop at Aspen Center for  
Physics: Developing New Tools for Dark Matter  
Searches, Aspen, USA (招待講演 2017.9.7)

**[7] Exploring pseudo-Nambu-Goldstone  
bosons in the sub-eV to 10 keV mass range  
with stimulated photon collider, K. Homma,**

Photon 2017, CERN Geneva, France  
(招待講演 2017.5.22)

**[8] ELI-NP での実験計画**

本間謙輔, 光量子科学合同シンポジウム,  
大阪大学 (招待講演 2017.05.09)

**[9] Search for Axion-like Particles via optical  
Parametric effects with High-Intensity lasers  
in Empty Space (SAPPHIRES) in a wide mass  
range**

K. Homma, Light driven Nuclear-Particle physics  
and Cosmology 2017, Yokohama, Japan  
(一般公演 2017.4.19)

**[10] Probing pseudo Nambu-Goldstone bosons  
via multi-wavelengths four-wave mixing**

K. Homma, Axion Dark Matter 2016, Stockholm,  
Sweden (招待講演 2016.12.7)

**[11] Potential to search for Dark Matter with  
multi-wavelengths light sources**

K. Homma, Extreme Light Scientific and  
Socio-Economic Outlook, Paris, France  
(招待講演 2016.11.30)

**[12] Extracting phase retardation of GeV  
photons to probe vacuum birefringence in  
high-intensity laser fields**

K. Homma and Y. Nakamiya, 25th ANNUAL  
INTERNATIONAL LASER PHYSICS  
WORKSHOP (招待講演 2016.07.13)

**[13] Search for dark components in the  
Universe with high-intensity lasers**

K. Homma, Energy, Material & Nanotechnology  
meeting on Laser Matter Interactions, Singapore  
(招待講演 2016.05.12)

**[14] 高強度レーザー場を用いた素粒子物理学の新  
展開**

本間謙輔, 第 36 回レーザー学会シンポジウ  
ム 名城大学天白キャンパス  
(招待講演 2016.1.11)

**[15] A Table-Top Collider with Extreme Light  
Technology to Test Elastic Photon-Photon  
Scattering**

K Homma\*, K Matsuura and K Nakajima,  
24th ANNUAL INTERNATIONAL LASER  
PHYSICS WORKSHOP, Shanghai, China (招待  
講演 2015.08.23)

**[16] Quantum Optics in the Vacuum toward  
Laboratory Search for Dark Fields in the  
Universe**

K. Homma, CLE2015, OPTICS & PHOTONICS  
International Congress 2015, Yokohama, Japan  
(招待講演 2015.04.23)

〔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 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

本間 謙輔 (Homma Kensuke)  
広島大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号：40304399

##### (2) 研究分担者

該当なし。

##### (3) 連携研究者

阪部 周二 (Sakabe Shuji)  
京都大学・化学研究所・教授  
研究者番号：50153903

##### (4) 研究協力者

該当なし。