

2019年度

京都大学大学院理学研究科

D 3 発表会アブストラクト

(2020年1月20日)

物 理 学 第 二 分 野

D3 発表会

日時:2020年1月20日(月) 9時～

場所:理学研究科5号館 525号室

発表時間:15分+5分(質問)

《目 次》

- | | | |
|---|----------|---------|
| 1 . Search for Supernova Relic Neutrinos
at Super-Kamiokande IV | 芦田 洋輔 | (9:00) |
| 2 . LHC-ATLAS実験における低運動量レプトンを用いた
超対称性電弱ゲージノの探索 | 赤塚 駿一 | (9:20) |
| 3 . 逆コンプトン γ 線を用いたペンタクォーク粒子 Θ^+ の探索 | 小早川 亮 | (9:40) |
| 4 . Connection between Planck Scale Physics and Field
Theory in the IIB Matrix Model | 酒井 勝太 | (10:00) |
| 5 . $^{136}\text{Xe}(p, ^2\text{He})$ 反応を用いた π 中間子原子分光実験 | 阪上 朱音 | (10:20) |
| 6 . Quantum Gravity aspects of Tensor Model | Chen Hua | (10:40) |
| 7 . Inflationary long-wavelength quantum fluctuations
in our local universe | 徳田 順生 | (11:00) |

8 . J-PARC E40実験における Σ^+p 散乱イベントの解析 七村 拓野 (11:20)

9 . ATLAS 実験Run-2における、bクォークに崩壊する
ヒッグス粒子とベクターボソンの随伴生成の測定 野口 陽平 (11:40)

《 午 後 》

10 . J-PARC NINJA実験における水標的ニュートリノ反応の測
定 平本 綾美 (13:00)

11 . Moduli Fields in String Phenomenology 山本 順二 (13:20)

12 . MeVガンマ線望遠鏡による豪州気球実験と
銀河中心領域の観測 吉川 慶 (13:40)

Search for Supernova Relic Neutrinos at Super-Kamiokande IV

高エネルギー物理学研究室 芦田 洋輔

Abstract A search for supernova relic neutrinos with a Super-Kamiokande IV 2970.1-day data set is performed. In the search, muon spallation and atmospheric neutrino backgrounds are estimated with improved methods. These have provided the world's most sensitive search to date.

© 2020 Department of Physics, Kyoto University

Supernova explosions are among the most powerful and complex phenomena in the universe, and revealing the details of their properties would help solve various mysteries in physics and astrophysics. In particular, the supernova studies via neutrino detections are important, though the observation of neutrinos from the supernova is limited only to SN1987A. Supernova relic neutrinos (SRNs), which are the integrated neutrino flux from all past supernovae, if detected, would provide valuable information about the explosion mechanism. So far the SRN signature has never been observed despite enormous experimental efforts towards the discovery. The world's most sensitive searches have been performed in Super-Kamiokande (SK) [1, 2]. In the SRN search at SK, the signal is inverse beta decay of electron antineutrinos, and the main background sources are muon spallation and atmospheric neutrinos. Understanding these backgrounds is essential to the search.

SK is exposed to about 2 Hz cosmic-ray muons and highly energetic muons break oxygen nuclei in water, producing electromagnetic and hadronic particles. These will subsequently undergo reactions with other nuclei in the detector, leaving many excited isotopes. Eventually the excited nuclei will decay via many channels, some of them contain a beta or gamma which becomes a background for the SRN search. Since there is no reliable Monte Carlo simulation, a data-driven method is developed in the analysis. For each signal candidate, muons that come within 30 sec. are compiled and their correlations with the signal candidate are investigated. This serves a reliable estimation of the muon spallation background.

Atmospheric neutrinos are another main background source in the search. Their interactions are categorized into two types: the neutral-current quasielastic (NCQE) interaction and the others. The NCQE interaction produces an excited nucleus which usually decays via gamma emission and involves a nucleon knock-out. Prior to the present work, this background was not measured nor predicted precisely. Then a measurement of this channel with artificial neutrino and antineutrino beams in the T2K experiment, whose energy region is similar to that of the atmospheric neutrinos, is conducted [3]. The results have improved the background estimation. The other interaction background than NCQE is estimated using the side-band region in the energy spectrum based on data.

In the end, the world's most sensitive search is achieved. In this talk, estimates of the backgrounds and the search results as well as their comparison with theoretical predictions are presented.

References

- [1] K. Bays et al. (Super-Kamiokande Collaboration), Phys. Rev. D **85**, 052007 (2012).
- [2] H. Zhang et al. (Super-Kamiokande Collaboration), Astropart. Phys. **60**, 41 (2015).
- [3] K. Abe et al. (T2K Collaboration), Phys. Rev. D **100**, 112009 (2019).

LHC-ATLAS 実験における低運動量レプトンを用いた 超対称性電弱ゲージノの探索

高エネルギー物理学研究室 赤塚 駿一

Abstract Supersymmetry (SUSY) is one of natural extensions of the Standard Model (SM) of particle physics. Searches for supersymmetric electroweakinos with compressed mass spectra in events with two soft leptons are presented, using 139 fb^{-1} of $\sqrt{s}=13 \text{ TeV}$ proton-proton collision data collected by the ATLAS detector at the Large Hadron Collider. No significant excess above SM predictions are observed, and lower limits on the masses of electroweakinos are set for some simplified models.

© 2020 Department of Physics, Kyoto University

標準模型の自然な拡張として、超対称性模型は1つの有力な候補である。超対称性模型では、標準模型に現れる粒子とスピンが1/2異なるパートナー粒子 (SUSY 粒子) を導入することで、ヒッグス粒子の質量の階層性問題を解決することができる。また、Minimal Supersymmetric Standard Model (MSSM) では、数 TeV 程度のエネルギースケールに SUSY 粒子が存在すれば、自然にヒッグス質量を説明できる[1]と同時に、最も軽い SUSY 粒子が観測されているダークマター残存量を再現する[2]。重心系エネルギーを Run1 での 8 TeV から 13 TeV に増加させた LHC Run2 で発見されることが期待されていたが、未だ有意な兆候は得られていない。

Naturalness やダークマター残存量の観点から、最も軽い SUSY 粒子と次に軽い SUSY 粒子がともに電弱ゲージノ (電弱ゲージボソンおよびヒッグス粒子の超対称性パートナー) であり、その質量の差が小さいモデルが有力である。MSSM において、電弱ゲージノが 1 TeV 以下と軽く他の SUSY 粒子が数 TeV より重い場合は棄却されていない。LHC では直接電弱ゲージノが生成される事象を観測することでこの質量領域を探索することができる。このようなモデルでは電弱ゲージノの崩壊から出る粒子の運動量が低く粒子識別が難しいため、粒子の誤識別による背景事象が支配的である。したがって、低運動量粒子の識別性能が探索の感度を決める鍵となる。

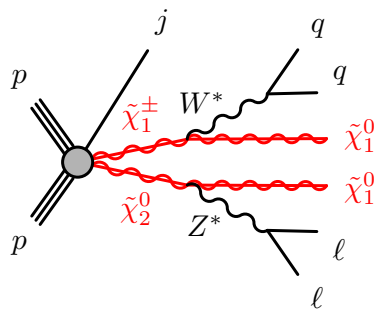


Fig. 1. Feynman diagram showing the target process. Electroweakinos are created in pair at pp collision, and decay in 2-lepton final state.

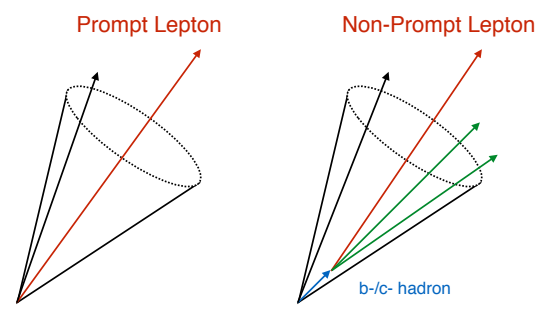


Fig. 2. Schematic diagrams of the difference in track distribution around prompt leptons (left) and non-prompt leptons from hadron decays (right).

本公演では、Fig. 1 に示すように、 $\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{\chi}_1^0 Z^*$, $Z^* \rightarrow \ell\bar{\ell}$ の崩壊による2つのレプトンが終状態に現れる事象を用いた電弱ゲージノの探索の手法と結果を発表する。低い運動量のレプトンと背景事象を分離するために、レプトンの周りの粒子の数や位置の分布の違い (Fig. 2) を多変量解析で分析する新しい手法の研究を行なった。ATLAS 検出器で 2015-2018 年に収集した 139 fb^{-1} の陽子衝突データを用いた最新の探索結果[3]に加え、新しい手法を導入した探索の結果を報告する。標準模型の予測に対し有意な超過は観測されず、質量差の小さい電弱ゲージノを含むいくつかのモデルに最も厳しい制約をつけた。

References

- [1] Jonathan L. Feng, Ann.Rev.Nucl.Part.Sci. **63** (2013) 351-382
- [2] S. Profumo, T. Stefaniak and L. Stephenson Haskins, Phys. Rev. D **96** (2017) 055018
- [3] ATLAS Collaboration, arxiv:1911.12606 [hep-ex]

逆コンプトン γ 線を用いたペンタクォーク粒子 Θ^+ の探索

原子核・ハドロン物理学研究室 小早川 亮

Abstract In 2002, a penta-quark candidate Θ^+ was discovered at the SPring-8 / LEPS facility. However the existence of Θ^+ has not been confirmed. We plan to search the Θ^+ using photon beam, produced by the backward compton scattering at SPring-8/LEPS2 beamline. The current status and overview of the experiment will be reported in this presentation.

© 2020 Department of Physics, Kyoto University

物質の基本要素である陽子や中性子はクォークから構成される多体系であり、ハドロンと呼ばれる。ハドロンはこれまで、3つのクォークから成るバリオン(陽子、中性子等)と、クォーク・反クォークから成るメソン(π 中間子の仲間)とに分類され、クォーク模型で良く説明されてきた。

2002年に兵庫県にあるSPring-8/LEPSにおいて炭素標的を用いた $\gamma n \rightarrow K^+ K^- n$ 反応で5つのクォークからなるペンタクォーク候補が発見され、 Θ^+ と命名された[1]。 Θ^+ はuuddsからなる粒子であり、同じ種類のクォーク・反クォーク対が無いペンタクォーク候補である。また Θ^+ の特徴である軽い質量(1540 MeV/c²)と狭い崩壊幅(10 MeV/c²)は単純なクォーク模型で説明することができない。LEPSの Θ^+ 粒子発見の報告を機に、他の様々な実験施設でも Θ^+ が観測されたという実験結果が報告された。しかしその後、 Θ^+ の存在を確認できなかったとする実験結果が報告されている。CLASでは過去に Θ^+ を観測したと報告していたが[2]、統計を増やしてみるとピークが確認できなかったとする結果を得ている [3]

このような混沌とした状況を打開するべく、我々はLEPS2という新たなビームラインを建設し、大立体角を覆うLEPS2ソレノイドスペクトロメーター(Fig.1)を用いることで、新たな生成過程や崩壊モードによる Θ^+ 探索実験によって Θ^+ の存在の有無に確定的な結果を与えることを目的としている。

LEPS2ソレノイドスペクトロメーターの各検出器の開発はほぼ完了しており、2018年からコミッショニングランを始めている。現在はデータ取得システムの整備、各検出器のインストールを進めている。2020年後期には物理データの取得の開始を予定している。本発表ではLEPS2ソレノイド実験の準備状況及び今後の展望について発表する。

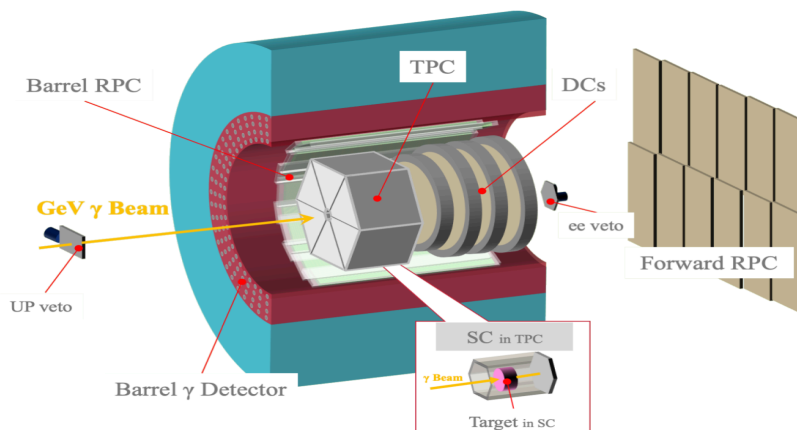


Fig. 1. The experimental setup at LEPS2 beam line

References

- [1] T. Nakano et al., Phys. Rev. Lett. 91(2003) 012002.
- [2] S. Stepanyan et al., Phys. Rev. Lett. 91, 252001 (2003).
- [3] B. McKinnon, et al., Phys. Rev. Lett. 96 (2006) 212011

Connection between Planck Scale Physics and Field Theory in the IIB Matrix Model

素粒子論研究室 酒井勝太

Abstract We study the IIB matrix model, a candidate for nonperturbative formulation of string theory. We show that the model consists of positive-norm states of higher spin fields that become massive at low energy. We also discuss a possible structure of effective field theory for the IIB matrix model.

© 2020 Department of Physics, Kyoto University

To construct the theory of quantum gravity and spacetime is believed to be solved with a nonperturbative formulation of string theory. Among the candidates for it, the IIB matrix model is one of the most promising ones. There have been a lot of works pointing out that the IIB matrix model contains the spacetime and gravity. On the other hand, the physical meaning of the degrees of freedom in it is not fully understood.

In many works, matrices are interpreted as noncommutative coordinates. There it has been reported that the matrix model contains the graviton despite the lack of general covariance. On the other hand, when one regards matrices as derivative operators on curved spacetimes, gravitational fields can be described more directly[1]. This is called the operator interpretation (OI). It is in question, however, whether the model with it is positive-definite, since the model contains infinitely many fields that are massless at tree-level, and the presence of higher spin gauge symmetries is not trivial. The structure of its effective field theory remains to be studied as well.

In this work, we study the IIB matrix model with the focus on the gravitational and higher spin fields. We first discuss how the gravitational force should be described by the model in the noncommutative treatment, which is found somewhat unnatural. Next, we move to the OI. We see that the naive reduction of the massless fields leads to inconsistency. However, we show that the model possesses higher spin symmetries for them, and that mass terms for them are induced when the supersymmetries are broken. These two results are partial evidence for the positive-definiteness of the matrix model.

We also investigate possible structures of the effective field theory for the IIB matrix model with OI, by pursuing the consistent structures within the framework of field theory. It has been known that the effective action become a function of ordinary actions[2], which gives a theoretical origin for degenerate vacua[3]. Since the direct analysis is difficult, we investigate how inflation can be realized with inflaton potential which has degenerate minima, and obtain the detail of the allowed form of inflaton potential. As another study, we attempt to construct the Lagrangian for a massive higher spin field in curved background, which is expected to emerge from the matrix model. There we show that a field with spin higher than 2 cannot be described by a consistent Lagrangian. It is likely that infinitely many higher spin fields are needed to be introduced.

Our results complementary support the consistency of IIB matrix model with the OI.

References

- [1] M. Hanada, H. Kawai and Y. Kimura, Prog. Theor. Phys. **114**, 1295 (2006)
- [2] S. R. Coleman, Nucl. Phys. B **310**, 643 (1988).
- [3] C. D. Froggatt and H. B. Nielsen, Phys. Lett. B **368**, 96 (1996)

$^{136}\text{Xe}(p, ^2\text{He})$ 反応を用いた π 中間子原子分光実験

原子核・ハドロン物理学研究室 阪上朱音

Abstract A spectroscopy of pionic atoms is one of the most established ways to investigate quantitatively partial restoration of chiral symmetry in medium. We plan to perform a pionic atoms spectroscopy experiment using the $^{136}\text{Xe}(p, ^2\text{He})$ reaction at RCNP. In a pilot experiment using ^{124}Sn target, we observed peak structures corresponding to pionic states. We are now preparing for the experiment with ^{136}Xe gas target.

© 2020 Department of Physics, Kyoto University

陽子や中性子などの質量は、それらを構成するクォーク単体の質量を足し合わせたものよりもはるかに大きい値を持つ。これはカイラル対称性の自発的破れにより説明される。このカイラル対称性は、有限温度・密度中では回復し、秩序変数であるクォーク凝縮 $\langle\bar{q}q\rangle$ が小さくなると考えられている。

クォーク凝縮 $\langle\bar{q}q\rangle$ について実験的な情報を得る方法の一つが、 π 中間子原子の束縛エネルギーを測定することである。 π 中間子原子は、 π^- 中間子が電磁相互作用と強い相互作用によって原子核に束縛された系である。束縛された π 中間子は原子核の表面付近に分布し、有限密度におけるカイラル対称性のプローブとしての役割を果たす。 π 中間子と原子核との相互作用は光学ポテンシャルによって記述される。この中の b_1 パラメータが $\langle\bar{q}q\rangle$ と関係づけられるため、 π 中間子原子の束縛エネルギーから光学ポテンシャルのパラメータを実験的に決定することで、有限密度における $\langle\bar{q}q\rangle$ の大きさを定量的に評価することができる[1]。実際に、ドイツ重イオン研究所 GSI での実験で、標準核密度 ρ_0 の約 0.6 倍の密度における b_1 パラメータを求めることで、標準核密度における $\langle\bar{q}q\rangle$ が真空中と比べて 33% 減少していることが実証された[2]。しかし、現在までに実験的に調べられているのはこの $0.6\rho_0$ における値のみである。次段階の課題として重要視されているのは、カイラル対称性の密度依存に関する情報を得ることである。 π 中間子がプローブする密度は、 π 中間子が束縛される原子核の中性子数や陽子数によって変化すると考えられる。そこで、 π 中間子原子を生成する標的核の中性子数または陽子数を系統的に変化させ、様々な π 中間子原子分光を行うことで、 b_1 パラメータの密度に対する変化を観測する計画が立てられている。

これまでに、GSI や理化学研究所 RIBF などの施設において $(d, ^3\text{He})$ 反応を用いた π 中間子原子の生成・観測実験が多く行われてきた。現在 RIBF では陽子数が 50 であるスズの同位体を中心とした系統的な研究が行われている。その一方で、同中性子体を系統的に調べる研究はまだ行われていない。そこで本研究では中性子数が 82 の同中性子体に焦点を当てる。82 は魔法数の一つであり、中性子について閉殻構造となっていると考えられるため、生成断面積の理論計算における原子核の構造に起因する不定性を小さくすることができる。我々は最初に ^{136}Xe を標的とした実験を行うことを計画している。キセノンは安定同位体の数がスズに次いで多く、同位体を系統的に調べることも可能である。一方でスズと異なり常温・常圧で気体であることから、GSI や RIBF では標的として扱うことが困難である。そこで、ガス標的を用いた実験が過去にも行われている大阪大学核物理研究センター RCNP で実験を行う。RCNP での実験では、陽子ビームを標的に入射させ、生成物である 2 つの陽子を Grand Raiden スペクトロメータにより運動量解析することで質量欠損分光法により π 中間子原子の束縛エネルギーを求める $(p, ^2\text{He})$ 反応を用いる。

パイロット実験として行った ^{124}Sn の固体標的を用いた実験においては、 π 中間子原子の束縛状態に対応したピーク構造が観測された[3]。この実験において RCNP での π 中間子原子分光実験の実験手法を確立することができた。この結果をふまえ、現在は ^{136}Xe を用いた実験に向けたガス標的の開発を進めている。必要な質量厚さを確保するにはガス標的の温度を下げる必要があるが、キセノンは沸点が 161 K であり、既存のガス標的システムにおける液体窒素を用いた冷却システムが使用できない。そのため、本研究でペルチェ素子を用いた冷却システムを新しく構築した。本発表では、 ^{136}Xe を標的とした本実験に向けた準備状況について報告する。

References

- [1] T. Yamazaki *et al.*, Phys. Rep. **514**, 1 (2012).
- [2] K. Suzuki *et al.*, Phys. Rev. Lett. **92**, 072302 (2004).
- [3] Y. N. Watanabe, Ph. D. thesis, University of Tokyo (2019).

Quantum Gravity aspects of Tensor Model

基礎物理学研究所素粒子論グループ

Chen Hua

Abstract The success of matrix model in describing 2-dimensional simplicial quantum gravity has motivated researchers in finding an extension, called tensor model, for higher dimensional cases. The importance of time direction for the theory highlighted by other works leads to our study of a tensor model in the canonical formalism.

© 2020 Department of Physics, Kyoto University

In a tensor model in Hamilton formalism, which we call Canonical Tensor Model (CTM), the fundamental physical object to be described is a rank-3 tensor P_{abc} . Its dynamic is controlled by a total Hamiltonian

$$H_{CTM} = n_a H_a + n_{ab} J_{ab}$$

where n_a and n_{ab} are Lagrange multipliers. H_a and J_{ab} are constructed by P_{abc} and its canonical conjugate M_{abc} as

$$H_a = \frac{1}{2} (P_{abc} P_{bde} M_{cde} - \lambda M_{abc})$$

$$J_{ab} = \frac{1}{4} (P_{acd} M_{bcd} - P_{bcd} M_{acd})$$

Comparing to the ADM formalism of classical general relativity, H_a and J_{ab} are dubbed as Hamiltonian constraint and momentum constraint respectively

The locality of P_{abc} in a formal continuum limit is ensured in the way that P_{abc} can be expressed as sum of only delta function $\delta(a-b)\delta(b-c)$ and its derivatives $\delta^{(n)}(a-b)\delta^{(m)}(b-c)$ with different coefficient $\beta_{\mu,\dots,v,\dots}^{(m,n)}$.

With the assumption that β 's decays rapidly as orders go high in the derivative expansion, the dynamics that the lowest several orders of β 's satisfy can be computed through the total Hamiltonian and shown to be identical with a classical gravity system coupled with a scalar field with the following action [1]

$$S = \int_{\tau} d^{D+1}x \sqrt{-G} \left(2R^{D+1} - \frac{A}{2} G^{ij} \partial_i \phi \partial_j \phi - \Lambda e^{2B\phi} \right)$$

up to a transformation from β 's to G and ϕ when $2 \leq D \leq 6$.

The exact wave functions of CTM is known to have a similar expression as the grand partition function of the Randomly Connected Tensor Network (RCTN)

$$Z(P) = \int_{\tau} d\phi e^{S(P,\phi)}$$

which gives a setup to understand the quantum aspects of CTM. By the way, RCTN itself has a geometry structure on its boundary [2], which makes this topic more interesting.

A previous work [3] shows that for a Lorentzian context with a completely imaginary $S = i(\phi^2 + P\phi^3)$, the partition function shows significant peaks at those tensor P that are invariant under Lie group symmetries. For a better understanding of the wave function in the quantum gravity scheme, we move on to consider a mixed case where $S = -\phi^2 + iP\phi^3$ whose result can be directly linked to a certain type of matrix model [4]. So far as we have studied, the partition function still has a favor of those invariant tensors. Computations ensures that the first derivatives at these special P_{abc} are zero, though it is not yet clear whether they are local maxims or saddle points. Further study is required.

References

- [1] H Chen, N Sasakura, Y Sato, PhysRevD.95.066008 (2017)
- [2] H Chen, N Sasakura, Y Sato, PhysRevD.93.064071 (2016)
- [3] D Obster, N Sasakura, Eur. Phys. J. C77,783 (2017)
- [4] L Lionni, N Sasakura, PTEP 2019 (2019) no.7, 073A01

Inflationary long-wavelength quantum fluctuations in our local universe

天体核研究室 徳田 順生

Abstract Physical significance of large infrared loop corrections from a spectator field to inflationary correlators is studied. We find that large corrections appear only when taking the ensemble average of various realization histories of long-wavelength fields. This implies we will not observe large infrared corrections. © 2020 Department of Physics, Kyoto University

Large infrared(IR) corrections to the inflationary correlators of curvature perturbations are generically induced when there exist light scalar fields other than inflaton. The appearance of large IR effects has been simply interpreted as an artifact of taking a classical statistical average of various realizations of IR fields over the whole universe, and such IR effects will be irrelevant for our local universe which we observe [1]. Theoretical justification of this classical statistical interpretation is still lacking, however.

We thus study the theoretical consistency of the stochastic interpretation of large IR effects. We consider a test scalar field in de Sitter space with a sufficiently flat interaction potential, which mimics isocurvature modes during inflation. We introduce an initial time and choose the Hubble scale at the initial time as an IR cutoff, and the adiabatic vacuum state as an initial quantum state.

By integrating out shorter-wavelength modes, we find that various time evolution histories of IR fields are decohered to each other very efficiently (exponentially in cosmic time) but not exactly. We then show that it is necessary and sufficient to consider coarse-grained histories of IR fields for ensuring the theoretical consistency of the stochastic interpretation of large IR effects. Probability assigned to each coarse-grained history can be evaluated using effective equations of motion for IR fields reproducing all the large IR effects, which take the form of Langevin equations [2, 3]. We also estimate the amplitude of the long-wavelength fluctuations in our local universe by considering the quartic interaction potential as a toy model. We find that it is typically suppressed by the coupling constant. This implies that we will not suffer from large IR corrections when evaluating observable quantities in our local universe.

References

- [1] N. Bartolo, S. Matarrese, M. Pietroni, A. Riotto, and D. Seery, JCAP **0801**, 015(2008).
- [2] J. Tokuda and T. Tanaka, JCAP **1802**, 014(2018).
- [3] J. Tokuda and T. Tanaka, JCAP **1811**, 022(2018).

J-PARC E40 実験における Σ^+p 散乱イベントの解析

原子核・ハドロン物理学研究室 七村拓野

Abstract Investigation of baryon-baryon interaction enables us to understand nuclear force in terms of quark interaction. J-PARC E40 experiment aims for measuring cross sections of Σp scatterings with high statistics by overcoming difficulties of hyperon-nucleon scattering experiment. In the presentation, I'll show the analysis status of Σ^+p elastic scattering events.

© 2020 Department of Physics, Kyoto University

核力を理解する上で、核子散乱実験は大きな役割を果たしてきた。核力をストレンジネスを含むバリオン(ハイペロン)に対して拡張した相互作用について調べる上でもハイペロン-核子散乱実験は強力な手段となるが、ハイペロンの寿命が 10^{-10} s と短いことから十分な統計量を得られるような散乱実験は容易ではなかった。

Σ 粒子-核子間相互作用については、 Σ^+ 粒子と陽子のスピントリプレット状態は準 Pauli 禁止状態であり、quark Pauli 効果による強い斥力が働くことが予想されている。過去に泡箱での実験や KEK E251[1]、E289[2] 実験として Σp 散乱実験が行われてきたが、 Σ^+p 散乱として同定されたイベント数は 100 イベントにも満たない。

J-PARC E40 実験[3]は J-PARC ハドロン実験施設 K1.8 ビームラインにおいて、大強度の π 中間子ビームを用いた $p+\pi^{\pm}\rightarrow K^{\pm}+\Sigma^{\pm}$ 反応により Σ 粒子を大量に生成すること、液体水素標的とそれを囲む検出器システム CATCH を用いて二体反応の運動学的再構成を行い散乱イベントを多数同定することにより、これまで困難であった高統計の Σp 散乱データを得ることを目的とした実験である。2019 年 4 月までに Σ^+p 散乱および予定量のおよそ半分の Σ^+p 散乱のデータの取得を行った。発表では Σ^+p 散乱のデータの解析について述べる。

$p+\pi^+\rightarrow K^++\Sigma^+$ 反応はスペクトロメータシステムにより同定・解析し、 Σ^+ の運動量ベクトルを再構成する。また Σ^+ が崩壊・散乱することにより生じる π^+ 粒子や陽子については多チャンネルの円筒型ファイバートラッカーと BGO 検出器からなる CATCH により飛跡とエネルギーを測定する。

反応の同定の例として、fig 1 に示す Σ^+p 散乱が起こった後に $\Sigma^+\rightarrow p\pi^0$ と崩壊する反応について述べる。2 つ陽子が検出されたイベントに対してこの反応を仮定し、 Σ^+ の運動量および陽子となす角 θ を用いて反跳陽子の持つべきエネルギー E_{calc} を計算する。これと CATCH で測定された反跳陽子のエネルギー E_{meas} の差

$\Delta E = E_{\text{meas}} - E_{\text{calc}}$ を求めると、仮定が正しいイベントに対しては ΔE が 0 に近い値に分布する。このようにして ΔE 分布のピークとして Σ^+p 散乱イベントを同定することができる。

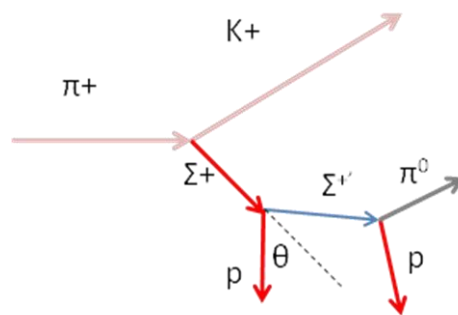


fig1. Reaction topology of Σ^+p scattering followed by $\Sigma^+\rightarrow p\pi^0$ Decay. 2 protons can be detected with CATCH.

発表では実験の概要、 Σ^+p 散乱およびバックグラウンドとなる Σ^+ の崩壊粒子が関与する反応についての解析状況について紹介するとともに、2020 年 2 月から 3 月に行われる予定の残りの Σ^+p 散乱データの取得に関しても述べる。

References

- [1] J.K. Ahn et al. Nucl. Phys. A 648 (1999) pp. 263-279.
- [2] J.K. Ahn et al. Nucl. Phys. A 761 (2005) 41.
- [3] K. Miwa et al., J-PARC Proposal E40 (2010)

ATLAS 実験 Run-2 における、b クォークに崩壊するヒッグス粒子とベクターボソンの随伴生成の測定

高エネルギー物理学研究室 野口陽平

Abstract Properties of Higgs boson can be modified by several scenarios beyond the Standard Model. To explore these effects, a measurement of associated production of Higgs bosons decaying to b-quarks with vector bosons is being performed. Current efforts to reduce systematic uncertainties as well as expected sensitivity are presented.

© 2020 Department of Physics, Kyoto University

ATLAS と CMS の両実験においてヒッグス粒子の存在が確認された。現在はヒッグス粒子の生成および崩壊の精密測定により標準模型の検証を行うことが重要であり、もし標準模型の予言値からの逸脱を検出した場合には新しい物理の存在を示唆する。ヒッグス粒子がベクターボソンの輻射として生成する過程は、ヒッグス粒子の b-クォークへの崩壊分岐比の測定において最大の感度を持つ[1]。超対称性模型などのように拡張されたヒッグスセクターを持つ模型においては湯川結合が変化するため、崩壊分岐比を精密に測定することは重要である。また、各種の拡張されたゲージ群を持つ模型からの寄与があった場合、ベクターボソンの横運動量などに対する微分生成断面積を変化させることが予想されており、この意味でも興味深い信号であるといえる。

現在 ATLAS 実験 Run-2 で取得した、 139 fb^{-1} のデータを用いた崩壊分岐比および微分断面積測定を遂行している。測定においては統計誤差だけでなく、理論・検出器に由来する系統誤差も大きな寄与を持っているため、これらの削減を行うことが重要である。新しい背景事象の見積もり方法による理論予測に対する依存性の削減や、背景事象の分離能力の改善 (Fig. 1) などによって背景事象由来の系統誤差の削減を行なった。現在のところ解析は未だ進行中であり、最終結果を得られていないが、自身で行ってきた研究を中心に予想される感度について発表する。

また、Fig. 2 で示した予想される微分断面積の測定結果を、標準模型からわずかにずれた模型 (Effective Field Theory) における微分断面積と比較することで、標準模型からの様々な可能なずれに対して制限を与える予定である。その研究にも触れる。

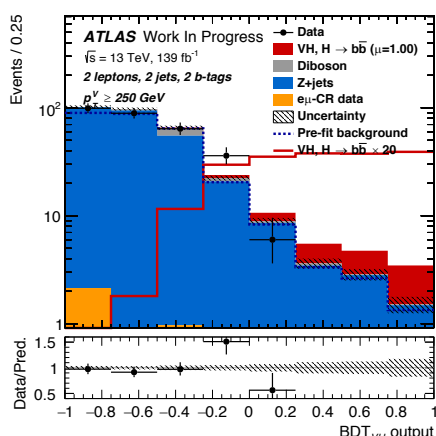


Fig. 1. Output distribution of a multivariate analysis used in the measurement. Signal (red) events are separated from backgrounds.

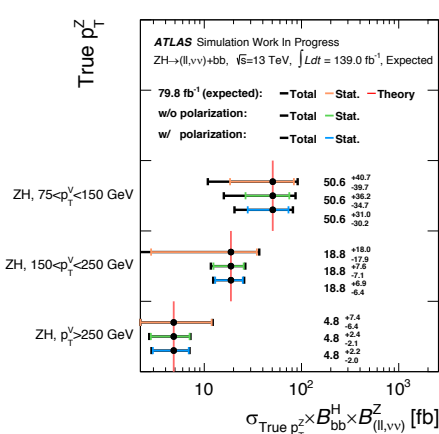


Fig. 2. Expected uncertainties of the production cross-sections of the VH signal in bins of transverse momentum of Z bosons with and without improvements of the analysis.

References

- [1] The ATLAS Collaboration, “Observation of $H \rightarrow b\bar{b}$ decay and VH production with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B 786 (2018) 59.

J-PARC NINJA 実験における水標的ニュートリノ反応の測定

高エネルギー物理学研究室 平本 綾美

Abstract The NINJA experiment aims to measure neutrino-water interactions. We use nuclear emulsion to measure low momentum protons from the neutrino interactions since these protons play an important role in construction of neutrino interaction models. The analysis status of 3kg water-target run in 2017-2018 will be reported.

© 2020 Department of Physics, Kyoto University

長基線ニュートリノ振動実験である T2K は、茨城県にある J-PARC 加速器でニュートリノビームを生成し、J-PARC 内の前置検出器および 295km 離れた岐阜県飛騨市神岡町にあるスーパーカミオカンデにおいてニュートリノ反応を観測することで、ニュートリノ振動パラメータを精密測定する実験である[1]。電子ニュートリノの出現事象およびミューニュートリノの消失を観測することによって振動パラメータを測定することが可能であり、ニュートリノと反ニュートリノでの観測を行うことでレプトンにおける CP 対称性の破れを観測することを目指している。

CP 破れの証拠を 3σ でとらえるには、ニュートリノと原子核の反応の不定性由来の系統誤差を削減することが現在の重要な課題となっている。ニュートリノ振動確率はニュートリノエネルギーに依存するため、振動パラメータの測定にはもとのニュートリノエネルギーを再構成する必要がある。メインシグナルである CCQE (Charged Current Quasi-Elastic) 反応は終状態でレプトンと陽子がひとつずつ生成され、レプトンの運動量と角度からニュートリノエネルギーの再構成が可能である。しかし、これを陽子やパイ中間子がさらに出てくるような他のニュートリノ反応モードと見誤ると、レプトンだけで正確にエネルギー再構成を行うことができなくなる。したがって、ニュートリノ反応を正確に理解し不定性を削減するためには、レプトンだけでなく終状態のハドロンを精密に測定することが注目されている。

ニュートリノ反応によって生成されるハドロンのうちとくに陽子は飛跡が短いため、これまで低い運動量閾値での測定が困難であった。とくに現存する検出器ではスーパーカミオカンデと同じ水標的のニュートリノ反応から出る短い陽子を測定することは困難であり、T2K の前置検出器ではこれまで 500MeV/c 程度の運動量閾値での陽子しか測定されてこなかった[2]。これではニュートリノ反応で出てくると考えられている陽子のうち半分程度しか測定できず、より低い運動量閾値での測定が必要とされている。そこで我々は NINJA 実験という原子核乾板を用いたニュートリノ反応の精密測定実験を J-PARC で行なっている[3]。NINJA 実験は原子核乾板と水標的を交互に並べた検出器とシンチレータ飛跡検出器を用いることで、200MeV/c の運動量閾値で水標的ニュートリノ反応からの陽子を測定することが可能である。これにより終状態の陽子や、さらには短い飛跡のパイ中間子を非常に高い位置分解能で測定することができ、ニュートリノ反応モデルの検証にとって非常に重要な情報を手に入れることができる。

NINJA 実験は現在 J-PARC にて 75kg の水標的を用いた本実験の測定を開始している。本実験に先立ち、2017-2018 年には 3kg の水標的を用いた小統計のパイロット実験が行われた。パイロット実験では反ニュートリノモードのビームが照射され、約 90 イベントの水標的ニュートリノ反応が検出された。原子核乾板はこれまで数々のニュートリノ実験に用いられてきたが、水標的を用いて原子核乾板でニュートリノ反応を観測したのは世界初である。ニュートリノ反応によって出てくる終状態のミューオン、パイ中間子および陽子の測定が行われ、我々はこれによりはじめて、水で起きたニュートリノ反応からの低運動量の陽子を 200MeV/c の閾値で観測することに成功した。

本発表では、このパイロット実験によるニュートリノ反応の解析に関し、終状態の荷電粒子の多重度や角度および運動量分布に注目して報告を行う。

References

- [1] K. Abe, et al. (T2K Collaboration), Nucl. Instrum. Meth. A 659 106 (2011)
- [2] K. Abe, et al. (T2K Collaboration), Phys. Rev. D 98.3 (2018): 032003.
- [3] T. Fukuda, et al., Prog. Theor. Exp. Phys. 063C02 (2017).

Moduli Fields in String Phenomenology

素粒子論研究室 山本 順二

Abstract In superstring theory, there are moduli fields, and the moduli must be stabilized appropriately. We have investigated a moduli stabilization, and a use of the moduli as the inflaton. We also investigated the instability of a vacuum in the supersymmetric abelian gauge theory in higher dimensions.

© 2020 Department of Physics, Kyoto University

超弦理論は 10 次元時空上での理論であるため、余剰に存在する 6 次元空間がコンパクト化される必要がある。この余剰 6 次元空間としては超対称性を保つため Calabi-Yau 多様体が一般的に考えられる。このコンパクト化に際し、余剰 6 次元空間の連続的な変形の自由度に対応する moduli 場が存在する。これらの場は Kähler moduli, complex structure moduli, axio-dilaton と分類される。これらの場が低エネルギーまで massless で存在すると第 5 の力として現れ、現在の観測と矛盾するため、適切な真空期待値と質量を持つように固定されなければならない。complex structure moduli, axio-dilaton に関しては、flux を導入することで tree level のポテンシャルで固定されることが知られているが、Kähler moduli に関しては非摂動効果やループ効果を考えなければ固定されない。この Kähler moduli の固定に関しては、Large Volume Scenario (LVS) [1]などが提案されている。

本研究は、この moduli 場の固定やその応用など、超弦理論の低エネルギー領域について moduli 場を中心に研究したものである。標準模型は chiral な理論であることが知られているので、UV での理論も chiral matter を同様に含むと期待される。その観点から chiral matter を用いた Kähler moduli の固定に関して、どのような制限がかかるかを調べ、また chiral matter によって、負の値をもつ LVS 真空を正のエネルギーにまで持ち上げられることを示した[2]。

moduli 場は axion を含むため、応用としてインフラトンやダークマターへの適用などがこれまでに研究されている。特に、非摂動効果間に働く相互寄与 (poly-instanton 効果と呼ばれる) が存在することが知られている[3] が、その効果によって axion ポテンシャルが非常に平坦な領域を自然にもち、インフレーションを実現するということが明らかにした[4]。

また低エネルギー理論の構築においてコンパクト空間上での波動関数の振る舞いを知ることは重要である。それらの波動関数の重なり積分から、湯川結合といった物理的な観測量が決定される。特に高次元における超対称な可換ゲージ理論において、Fayet-Iliopoulos 項がループ効果で生成され、それによってコンパクト空間上で波動関数が局在化することが知られている。この局在化を引き起こす真空中で、ループ補正を再評価するとその真空解が不安定になりうるということを 5 次元、6 次元空間を例に示した[5,6]。またこの不安定性は complex structure の固定に関連づけられる[6]。

本発表では、moduli 場についての概要を説明したのちに、chiral matter を用いた Kähler modulus の固定と、負の値をもつ LVS 真空の持ち上げについての研究[2]を中心に紹介する。

References

- [1] V. Balasubramanian, P. Berglund, J. P. Conlon and F. Quevedo, JHEP 0503, 007 (2005).
- [2] T. Kobayashi, O. Seto, S. Takada, T. H. Tatsuishi, S. Uemura and J. Yamamoto, PTEP 2019, no. 9, 093B04 (2019).
- [3] R. Blumenhagen and M. Schmidt-Sommerfeld, JHEP 0807, 027 (2008).
- [4] T. Kobayashi, S. Uemura and J. Yamamoto, Phys. Rev. D 96, no. 2, 026007 (2017).
- [5] H. Abe, T. Kobayashi, S. Uemura and J. Yamamoto, Phys. Rev. D 100, no. 6, 065020 (2019).
- [6] H. Abe, T. Kobayashi, S. Uemura and J. Yamamoto, work in progress.

MeV ガンマ線望遠鏡による豪州気球実験と 銀河中心領域の観測

宇宙線研究室 吉川慶

Abstract Observations of nuclear gamma rays and electron-positron annihilation line are unique probes for astrophysics. We are developing an electron-tracking Compton camera (ETCC) as a high-sensitivity telescope. In order to confirm the performance of ETCC for celestial objects, we had one-day balloon observation of the galactic center region (GCR), and the annihilation line emitted in GCR had an excess with the significance of ~ 5 sigma. This significance was consistent with the expectation before the balloon flight.

© 2020 Department of Physics, Kyoto University

数百 keV から数十 MeV までのガンマ線帯域は、電子・陽電子対消滅線や放射性同位体からの核ガンマ線が観測できる唯一のエネルギー帯域である。これを利用して、超新星爆発や中性子連星合体など元素合成の現場の直接探索[1][2]や、銀河系内の物質拡散のトレース[3]が可能であるが、コンプトン望遠鏡 COMPTEL[4]による衛星での全天探査以降、約 20 年間、観測が進んでいないのが現状である。

この現状を打破するために、我々は電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡 ETCC を開発している[5]。散乱ガンマ線のエネルギー・方向、反跳電子のエネルギーに加えて、ガス飛跡検出器を利用することで、反跳電子の方向も取得できる。そこが COMPTEL などの従来のコンプトン望遠鏡との違いであり、コンプトン散乱運動学における全物理量を測定しているため、入射ガンマ線の到来方向を一意に決定でき、収束した鋭い Point Spread Function を定義できる。これにより周囲の明るい天体からの漏れ込みを正しく評価・制限でき、MeV 領域で世界初となる定量的なイメージング分光が実現できる。また、これまでの MeV ガンマ線望遠鏡では実現できなかった、上空での天体検出感度と地上試験からの予測感度の一致が期待できる。

上空での天体撮像能力の実証試験として、2018 年春に ETCC を搭載した大気球実験 SMILE-2+を行った。初期解析として、銀河中心領域が視野内の観測スペクトルから、背景事象モデルとして高銀緯が視野内の観測スペクトルを差し引き、銀河中心領域由来のスペクトルを得た。全体で $\sim 10\sigma$ 、511 keV を含むビンで $\sim 5\sigma$ の有意度で超過を検出した。詳細に解析をするために、検出器の応答関数が必要となる。そこで Geant4 を利用した検出器エミュレータを構築した。コンプトン散乱が優位であるこの領域では、応答関数における非対角成分の寄与が大きい。非対角成分も含めた実験値との比較・検証を行った。また、現状の応答関数での引き戻しを行い、銀河中心領域方向からのフラックスを得た (Fig. 1) [6]。

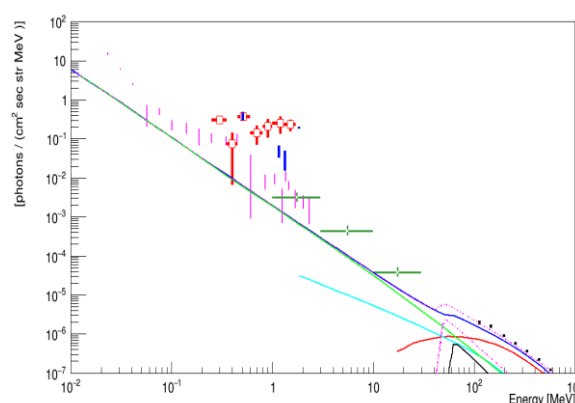


Fig. 1. Energy spectrum of the galactic center region.
The red marker shows a preliminary result of SMILE-2+.

References

- [1] V. Schonfelder, Springer, Berlin, Heidelberg (2001).
- [2] S. Wanajo *et al.*, The Astrophysical Journal, **789** (2014) 39.
- [3] R. Diehl *et al.*, Nucl. Phys. A, **777**, (2006) 70.
- [4] V. Schonfelder *et al.*, Astron. Astrophys. Suppl. **143**, (2000) 145-179.
- [5] T. Tanimori *et al.*, The Astrophysical Journal, **810**, (2015) 28.
- [6] 吉川慶 他, 2019 年大気球シンポジウム, isas19-sbs-022