

平成24年度

京都大学大学院理学研究科

D3 発表会アブストラクト

(平成25年1月22日)

物理学第二分野

D 3 発 表 会

日 時 2013年1月22日(火) 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. Measurement of azimuthal anisotropy of electrons from heavy flavor meson decays at RHIC-PHENIX.
浅野 秀光(9:00)・・・ 1
2. ^{20}Ne 原子核のアルファ凝縮状態探索実験
足立 智(9:20)・・・ 2
3. Measurement of charged pion interaction with nucleus for improving the neutrino simulation in T2K
家城 佳(9:40)・・・ 3
4. Femtosecond Electron Deflectometry for Measuring Ultrafast Transient Fields Induced by Intense Laser Pulses
井上 峻介(10:00)・・・ 4
5. Lattice QCD analysis for the role of gluons in the Coulomb-gauge confinement scenario
入谷 匠(10:20)・・・ 5
6. Gravitational Collapse In Lovelock Gravity
大橋 勢樹(10:40)・・・ 6

7. Matrix models in string and M-theory and Exact Results

岡田 崇(11:00)・・・ 7

8. Chiral phase transition in QCD with Critical Fluctuation

上門 和彦(11:20)・・・ 8

9. X-ray Study on the Activity History of Sagittarius A*
by Three-dimensional View of the Galactic Center

丸藤 竜之介(11:40)・・・ 9

----- 午 後 -----

10. Inflation in Gauge Mediation

酒井 学(13:00)・・・10

11. $\text{In}({}^{28}\text{Si}, \pi^\pm)X$ 反応を用いた対称エネルギーの決定

酒向 正己(13:20)・・・11

1 2. J-PARC E15 実験における in-flight ${}^3\text{He}(K^-,n)$ 反応での K 中間子原子核の探索

佐田 優太(13:40)・・・12

1 3. QGP 中の低エネルギー領域における新しいフェルミオンの励起

佐藤 大輔(14:00)・・・13

1 4. J-PARC における (π^-, K^+) 反応を用いた中性子過剰ハイパー核 ${}^6_\Lambda\text{H}$ の研究

杉村 仁志(14:20)・・・14

1 5. Large D 展開による高次元ブラックホールの解析

鈴木 良拓(14:40)・・・15

1 6. Stability Analysis of Black Hole Solutions in Lovelock Theory

高橋 智洋(15:00)・・・16

1 7. Gravitational Exact Solutions with Sasakian Structure
in Superstring Inspired Theories

竹内 寛(15:20)・・・17

18. Hawking–Moss Instantons in non-linear Massive Gravity についての研究
章 穎理(15:40)・・・18
19. Evaluation of the performance of a Charged particle
detector for K^0 TO experiment
内藤 大地(16:00)・・・19
20. Strong-coupling Analysis of Lattice QCD
中野 嵩士(16:20)・・・20
21. Development and construction of the charged Particle
veto detector for a $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ search experiment
前田 陽祐(16:40)・・・21
22. Measurement of Neutrino Oscillation Parameters with the Improved Neutrino Flux
Prediction in the T2K Experiment
村上 明(17:00)・・・22

Measurement of azimuthal anisotropy of electrons from heavy flavor meson decays at RHIC-PHENIX.

原子核・ハドロン物理学研究室 浅野秀光

Abstract Silicon Vertex Tracker (VTX) was installed in the RHIC-PHENIX detector for separation of heavy flavor hadrons, charm and bottom. In this presentation, the status of azimuthal anisotropy of electrons from semi-leptonic decay of D and B mesons using the VTX will be presented.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

The production of heavy quarks is a good tool for investigating the hot and dense partonic medium created in high energy heavy ion collisions. Due to their large masses, heavy quarks are mainly produced at the initial stage of the collisions. This makes them clean probes to study hot and dense matter because they keep the information of the created matter[1].

The azimuthal anisotropy is the 2nd Fourier coefficient $v_2(p_T)$ of the azimuthal distribution,

$$\frac{d^2N}{d\varphi dp_T} = N_0 \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2v_n(p_T)(1 + \cos n\varphi) \right],$$

where φ is the emission angle of the particle momentum relative to the reaction plane. The azimuthal anisotropy is also sensitive to the collective motion and thermalization of the matter.

The RHIC-PHENIX experiment measured the azimuthal anisotropy of electrons from semi-leptonic decays of open heavy flavor mesons. The results of these measurements indicate that heavy quarks interact with the dense medium produced at RHIC more than it had been expected. It is now apparent that even heavy quarks flow with the produced medium. However, in these measurements, we were not able to distinguish between charm and beauty decays, measuring instead a mixture of the two[2].

The Silicon Vertex Tracker (VTX) was installed in the PHENIX detector in year 2011. The VTX was designed to give accurate tracking reconstructions of the distance of closest approach to the collision vertex in order to distinguish secondary particles from in-flight decays. In this way, we will be able to statistically separate the heavy-quark production of charm and beauty[3]. In this presentation, the status of azimuthal anisotropy of electrons from semi-leptonic decay of D and B mesons using the VTX will be presented.

References

- [1] Lin Z and Gyulassy, M 1995 Phys Rev. C 51 2177..
- [2] A. Adare et al. (PHENIX Collaboration) Phys. Rev. C 84, 044905 (2011)
- [3] M. Baker et al. Proposal for a Silicon Vertex Tracker (VTX) for the PHENIX Experiment, 2004 BNL-72204-2004, Physics Dept. BNL;

^{20}Ne 原子核のアルファ凝縮状態探索実験

原子核・ハドロン物理学研究室 足立 智

Abstract The cluster aspect of nuclei is one of the topics which are discussed for the years. Alpha condensed states in $A=4n$ nuclei are theoretically predicted, but there are little experimental evidence. We will search for the alpha condensed states in ^{20}Ne by measuring $^{20}\text{Ne}(\alpha,\alpha')$ inelastic scattering at RCNP, Osaka.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

原子核は陽子と中性子のフェルミ粒子からなる有限量子多体系であり、平均場における独立粒子模型がよく成り立ち、殻構造を示すことが知られている。しかしいくつかの原子核では、強い空間的相関を持った構造、クラスター構造が現れることも知られている。この殻構造とクラスター構造の競合は核子間相互作用の特性から現れるものであり、有限量子多体系としての原子核を理解するために重要である。

池田らはクラスター構造がその崩壊閾値近傍で主に現れると予言しており[1]、実際に ^{12}C 原子核については”ホイール状態”と呼ばれる励起エネルギー7.65 MeV で 3α 崩壊閾値から約380keV 高い状態が発見されている。”ホイール状態”は3つのアルファ粒子が全て最低エネルギーのs軌道にあり、希薄なガスの状態であるということが指摘されている。このような状態はアルファ粒子凝縮状態と呼ばれ、その存在についてより重い原子核においても研究されてきた。山田らの計算では、 $A=4n$ の原子核について $n=10$ まではアルファ凝縮状態が存在しうるとしている[2]。現在のところ、 ^{12}C 原子核までは議論もあるがアルファ凝縮状態の候補は実験的に確認されている。 ^{16}O 原子核については励起エネルギー15.1 MeV 付近に存在の可能性が示唆されているのみで依然確定的ではない。 ^{20}Ne についてはアルファ凝縮に関する実験はほとんど存在しない。

以上の状況から我々はアルファ凝縮状態を探索すべき原子核は ^{20}Ne であると考え、 ^{20}Ne のアルファ凝縮状態探索実験を大阪大学核物理センターに提案し、採択された(E402)。E402 実験では、 ^{20}Ne の 5α 崩壊閾値から数 MeV 高い領域の励起状態への E0 遷移強度の測定と、その励起状態からの各崩壊チャンネル、特にアルファと陽子への崩壊分岐比の測定を行う。E0 遷移強度はクラスター状態探索に有用な測定量である。これは、川畑らの $^{11}\text{B}(d,d')$ 反応による先行実験により $2\alpha+t$ クラスター状態の候補へ大きな E0 遷移強度を持つ事が示され、後に山田らにより空間的に発達したアルファクラスター構造が大きな E0 遷移強度を持つ事が理論的に説明されている[3]からである。崩壊分岐比については、発達したアルファクラスター状態は陽子崩壊に比べ、アルファ崩壊する確率が高いと考えられる。また ^{20}Ne のアルファ凝縮状態は数 MeV 以下の低エネルギーのアルファ粒子を放出しつつ、より軽い ^{16}O のアルファ凝縮状態を経由して崩壊すると考えられる(Fig.1)。

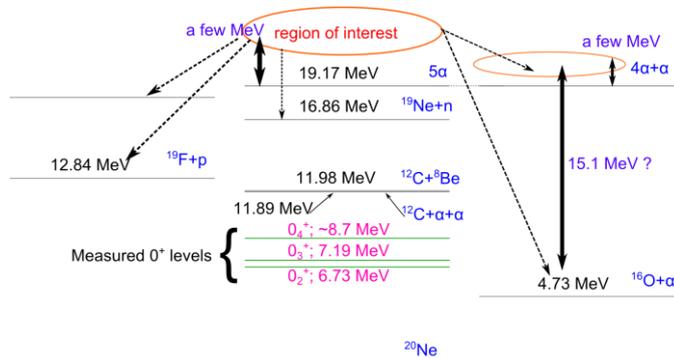


Fig.1 : ^{20}Ne decay threshold and the region of interest

E0 遷移強度の測定と、崩壊分岐比の測定のために、 $^{20}\text{Ne}(\alpha,\alpha')$ の α 非弾性散乱と崩壊粒子の同時測定、非弾性散乱の角度分布の測定、および α -N 有効相互作用決定のために弾性散乱の測定を行う。

^{20}Ne 標的としては実験的にはガス標的を用いる必要があり、ガス封止用窓材料の物質質量のため、想定される数 MeV 以下の低エネルギーの崩壊アルファ粒子を検出することは通常技術的に難しい。数 MeV までの崩壊アルファ粒子の測定を可能にするために、低エネルギー損失のガス標的を現在開発中である。

References

- [1] K. Ikeda *et al.*, Prog. Theor. Phys. Suppl. Extra Number, 464 (1968).
- [2] T. Yamada *et al.*, Phys. Rev. C **69**, 024309 (2004).
- [3] T. Kawabata *et al.*, Phys. Lett. B **646**, 6 (2007), T. Yamada *et al.*, Prog. Theor. Phys. **120**, 1139 (2008).

Measurement of charged pion interaction with nucleus for improving the neutrino simulation in T2K

高エネルギー物理学研究室 家城佳

Abstract Pion-nucleus interaction cross sections are important in the neutrino experiments such as T2K, because the pions are often produced in the neutrino interaction. We measured the pion absorption and charge exchange cross section using a pion beam line at TRIUMF. The results and possible improvements in T2K will be presented.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

T2K is an accelerator based neutrino oscillation experiment, aiming to measure the disappearance of ν_μ beam and appearance of ν_e with high precision. Recently, the non-zero value of neutrino mixing parameter θ_{13} was indicated by T2K[1], and observed with $>5\sigma$ significance by the reactor experiments[2][3]. The last unknown parameter in the neutrino mixing matrix (MNS matrix) is the CP violating phase δ . Further high precision measurement is required in order to achieve 5σ significance in the accelerator ν_e appearance measurement, and to measure the δ phase in the near future.

One of the key for reducing the systematic error is the uncertainty in pion secondary interaction followed by the neutrino interaction. In T2K, we count the number of CCQE events (Charged Current Quasi Elastic, $\nu_\mu + n \rightarrow \mu + p$) to measure the neutrino flux, while the main backgrounds for CCQE are CC1 π events ($\nu_\mu + n \rightarrow \mu + p + \pi$). If the pion in the CC1 π interaction is absorbed by the nucleus, the CC1 π events will be identified as CCQE events, so the beam flux will be overestimated. This event misidentification also affects the neutrino energy measurement, because we reconstruct the neutrino energy from the final state lepton momentum assuming two body kinematics. However, there are large uncertainties in the past pion-nucleus cross section measurements (typically $\sim 25\%$ for pion absorption), which largely affects the neutrino interaction measurements. Therefore, we decided to measure the pion-nucleus cross section in the DUET experiment.

The DUET experiment took place at TRIUMF M11 secondary beamline. We measured the pion absorption charge exchange cross sections on carbon target, in the momentum range from 150MeV/c to 300MeV/c. The main detector for this experiment is a fully active scintillating fiber detector, which is capable of distinguishing the pion interactions by reconstructing all the charged tracks in the final state. The scintillating fibers are surrounded by NaI and “Harpichord” detectors, in order to detect the gamma rays from π^0 from charge exchange. In this talk, the result of absorption + charge exchange cross section measurement and the comparison with simulation will be presented. Possible improvements in the T2K experiment will be also discussed.

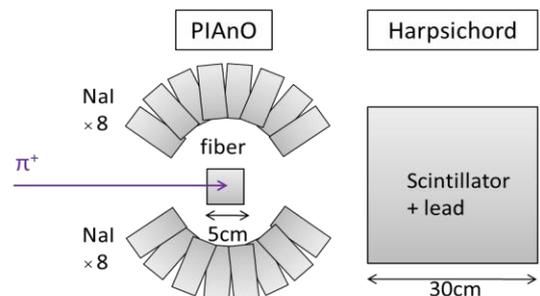


Fig. 1. DUET

References

- [1] K. Abe *et al.*, “Indication of Electron Neutrino Appearance from an Accelerator-Produced Off-Axis Muon Neutrino Beam”, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 041801 (2011).
- [2] F. P. An *et al.*, “Observation of Electron-Antineutrino Disappearance at Daya Bay”, *Phys. Rev. Lett.* **108**, 171803 (2012).
- [3] J. K. Ahn *et al.*, “Observation of Reactor Electron Antineutrinos Disappearance in the RENO Experiment”, *Phys. Rev. Lett.* **108**, 191802 (2012).

Femtosecond Electron Deflectometry for Measuring Ultrafast Transient Fields Induced by Intense Laser Pulses

Laser Matter Interaction Science Group Shunsuke Inoue

Abstract Dynamics of ultrafast electromagnetic fields generated by the interaction of an intense femtosecond laser pulse with solid matter is studied. To observe the dynamics, we propose a new technique, that is, femtosecond electron deflectometry with an electron imaging system. The electric fields changing within several hundred femtoseconds are successfully observed.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

The recent remarkable development of ultrashort-pulse high intensity lasers enables us to produce extreme high energy density plasma. Various radiations (electrons, ions x-rays, gamma rays, and terahertz waves) emitted from the laser-produced plasma have unique features, such as short pulse duration, high intensity, point source, and perfect synchronization among the different radiations. The laser plasma radiations are of great interest in many areas, for example, particle acceleration, fast ignition for inertial confinement fusion, cancer therapy using ion beams, ultrafast electron diffraction measurement, time-resolved x-ray proving, laser-driven nuclear physics, and laboratory astrophysics. Since the laser plasma radiations are induced by the motion of electrons accelerated directly by an intense laser pulse, it is of essential importance to understand the generation mechanism and characteristics of the laser-accelerated electrons. Current prevailing theory suggests that an intense laser pulse strongly interacts with plasma around the critical density, and the energy of the incident laser pulse is partially transferred to the laser-accelerated electrons. Extensive numerical simulations and experimental studies indicate that the electrons are accelerated during the laser pulse. Observing the temporal behavior of laser-accelerated electrons, however, remains a challenging problem because they are accelerated and emitted on an ultrafast time scale, typically from femtoseconds to picoseconds, and the response of the laser-accelerated electrons to the incident laser pulse is still not completely understood. For further studies of the interactions between intense femtosecond laser pulses and solid matter, it is crucial to develop a measurement technique for field dynamics on a femtosecond time scale.

We have proposed a new technique, that is, femtosecond electron deflectometry with an electron imaging system [1-3]. In this technique, the electron pulse produced by a femtosecond laser pulse has been employed as a probe pulse for the electromagnetic field. By using laser-accelerated electron pulses, the temporal resolution and sensitivity for the measurement of electromagnetic field have been improved better than conventional methods. Using this technique, the temporal evolution of the electric field generated by an intense femtosecond laser pulse has been studied. We have successfully observed the deflections of electron pulses during several hundreds of femtoseconds after the laser pulse is irradiated on a solid target at an intensity of 10^{16} W/cm². The observed deflections have been qualitatively explained by the transient electric fields produced by electron pulses. From the present results it is found that the electric fields along the target surface decay during $< 400 \pm 50$ fs and that the magnitude of the electric fields is estimated to be $\sim 2 \times 10^8$ V/m. Moreover, we have studied the emission duration of fast electrons generated and accelerated from the surface of a solid target irradiated with an intense femtosecond laser. We have applied the femtosecond electron deflectometry to autocorrelation measurement for emission duration of fast electron pulses from the target surface. It has been known from the experimental data that the emission durations of fast electrons depend on the laser pulse duration for the incident laser pulse durations of 200 fs, 410 fs, 540 fs, and 690 fs. With the numerical calculations of electron dynamics in the experimental configuration, it has been confirmed that the emission duration of fast electrons is almost equal to the duration of laser pulse. The present achievements are of great significance to understand the laser-plasma physics and to develop advanced radiation applications based on ultrafast electron dynamics.

References

- [1] Shunsuke Inoue, *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **81**, 123302 (2010).
- [2] Shunsuke Inoue, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **99**, 031501 (2011).
- [3] Shunsuke Inoue, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **109**, 185001 (2012).

Lattice QCD analysis for the role of gluons in the Coulomb-gauge confinement scenario

原子核理論研究室 入谷 匠

Abstract In Coulomb-gauge confinement scenario, near-zero Faddeev-Popov eigenmodes are important quantities for a confining color-Coulomb energy. We analyze the role of gluons to the color-Coulomb energy and Faddeev-Popov eigenmodes from lattice QCD. We find that the low-momentum gluons are essential for the characteristic behavior of the Faddeev-Popov eigenmodes for confinement.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

カラーの閉じ込めは理論物理学において非常に重要な未解決問題の1つであり、現在まで、その解明のため様々な機構が提唱されている。その1つである、Gribov-Zwanziger scenario [1]は、Coulombゲージでの color-Coulomb energy に注目して考案された閉じ込め描像である。Coulomb ゲージでは、QCD Hamiltonian は以下のように与えられる。

$$H = \frac{1}{2} \int d^3\vec{x} (\vec{E}^a \cdot \vec{E}^a + \vec{B}^a \cdot \vec{B}^a) + \frac{1}{2} \int d^3\vec{x} d^3\vec{y} \rho^a(\vec{x}) [M_{\text{FP}}^{-1}(-\nabla^2) M_{\text{FP}}^{-1}]_{\vec{x}\vec{y}}^{ab} \rho^b(\vec{y})$$

ここで、 $\vec{E}^a(\vec{B}^a)$ はカラー電場(磁場)、 $\rho^a(\vec{x})$ はカラー電荷密度、 M_{FP} は Faddeev-Popov (FP) 演算子である。この第2項が color-Coulomb energy に対応し、QED では電荷間の距離の逆数に比例する Coulomb ポテンシャルを与える。しかし、QCD では FP 演算子が非自明なゼロ点を持ち、これらゼロ固有値近傍の状態は color-Coulomb energy を急激に増大させる。その結果、クォーク間の線形ポテンシャルが得られ、閉じ込めが説明される。この描像では low-lying FP 固有状態が、閉じ込めを担う重要な要素となる [2]。

この研究では、我々は QCD のダイナミクスを担うグルーオンの自由度から、この閉じ込め描像を理解するため、格子 QCD を用いて color-Coulomb energy と FP 固有状態へのグルーオンの赤外・紫外運動量成分の寄与を解析した [3]。その結果、グルーオンの赤外成分の除いた場合では、color-Coulomb energy は非閉じ込めとなり、low-lying の FP 固有状態も同時に消失し、そのスペクトル構造は連続的なものから有限格子系での自由場に近しい多重ピーク構造へと変化した (Fig. 1)。その一方で紫外成分は、color-Coulomb energy や FP 固有状態の非自明な構造へは、ほとんど寄与しないことが明らかになった。この結果は、Coulomb gauge 閉じ込め描像においても、グルーオンの低エネルギー成分が重要な役割を担うことを示唆している。

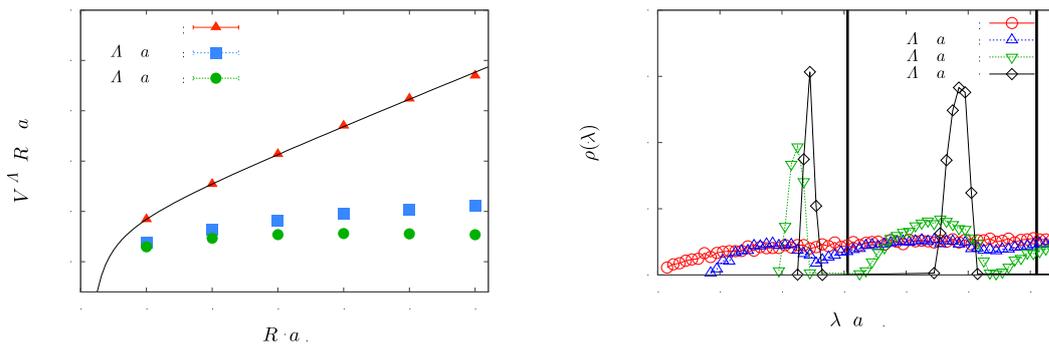


Fig. 1 (a) color-Coulomb energy with Coulomb plus linear fitting curve. (b) Low-lying FP spectrum (the vertical bars denote free-field spectrum in finite-volume lattice). Λ_{IR} is IR-cut parameter introduced for gluon momentum ($a_p \simeq 0.50$ GeV).

References

- [1] V. Gribov, Nuclear Physics **B139**, 1 (1978); D. Zwanziger, Physical Review Letters **90**, 102001 (2003).
- [2] J. Greensite, S. Olejnik, and D. Zwanziger, Journal of High Energy Physics **05**, 070 (2005).
- [3] T. Iritani and H. Suganuma, Physical Review D **86**, 074034 (2012).

Gravitational Collapse In Lovelock Gravity

天体核研究室 大橋勢樹

Abstract We study the gravitational collapse in Lovelock gravity, which is higher dimensional generalization of the Einstein gravity. Then we find that the singularity formed during the collapse is visible to nearby observer. We also find the nature of the singularity is different between odd dimension and even dimension.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

We study the gravitationally collapsing phenomena in higher dimensional spacetime. Our interest is on the issue whether singularity formed during the collapse is visible to observers or not. Singularity is the region where the physics break down, and we cannot predict the future from it. In order to avoid such pathology, it is believed that the singularity cannot be naked during the collapse. This conjecture is known as cosmic censorship conjecture (CCC). Verifying this conjecture is one of the most important topics in gravitational physics, but it still remains to be done.

Here, we adopt the Lovelock theory as higher dimensional gravitational theory because it is natural generalization of standard general relativity (GR) into higher dimension, and some type of string theory predicts the Lovelock's type of corrections into GR.

To verify the CCC, we study the gravitational collapse of spherical dust cloud in Lovelock gravity [1, 2]. The dust cloud is the perfect fluid with zero pressure. Then we find that the singularity can be naked in all spacetime dimension, violation of CCC. We also find that the dynamics of the collapse are different between odd and even dimensional spacetime, and the nature of singularity is qualitatively different between odd and even dimension.

References

- [1] S. Ohashi, T. Shiromizu and S. Jhingan, Phys.Rev.D 84 024021 (2011)
- [2] S. Ohashi, T. Shiromizu and S. Jhingan, Phys.Rev.D 86 044008 (2012).

Matrix models in string and M-theory and Exact Results

素粒子論研究室 岡田崇

We study exact results of Berenstein-Maldacena-Nastase (BMN) matrix model, which is conjectured to give a description of light-cone compactified M-theory in an eleven dimensional maximally supersymmetric plane wave background.

@ 2013 Department of Physics, Kyoto University

11次元 M 理論は 10次元 Type IIA 超弦理論の強結合極限として提唱され、その低エネルギー極限の記述は 11次元超重力理論で与えられることが知られている。しかしながら、M 理論の厳密な定式化はいまだ明らかでなく、これまでの研究の多くは、超弦理論と M 理論との間に期待される双対性に基づいた間接的議論に留まっている。M 理論と他の超弦理論とは互いに様々な双対性によって結びついており、M 理論の理解は超弦理論全体の理解にも不可欠である。

超弦理論・M 理論の定式化する試みのひとつに行列模型・行列量子力学に基づくものが提唱されている。たとえば BFSS 行列模型 [1]、IIB 行列模型 [2]、BMN 行列模型 [3] が挙げられる。特に、本研究に深く関係するものは BMN 行列模型であり、適切な極限で、光円錐方向にコンパクト化された plane-wave 時空上の M 理論の記述を与えると考えられている。行列模型による定式化は M 理論の定義を直接的に与えるものとして重要な意義があるが、行列模型から M 理論の物理量を得るための極限は強結合極限であるために、その解析は一般に困難である。

以上の背景をふまえて、本研究 [4, 5] では、BMN 行列模型の物理量を「局所化」の手法を用いて厳密計算することで、超弦理論・M 理論の物理量を厳密に得ることを試みた。「局所化」は、経路積分の被積分関数にある種の (たとえば超対称性など) 対称性があるときに、その対称性 (場の配位空間内の) 固定点のみが経路積分に寄与する、という現象である。その結果、無限次元の積分は数学的に遥かに扱いやすい有限次元の積分に帰着され、この積分を評価することで強結合領域でも厳密な結果を得ることができる。本研究の主な結果は、BMN 行列模型のいくつかの超対称な物理量が、この局所化の方法を用いて計算できることを証明し、実際にこれらの物理量の有限次元の積分の表式を (instanton 効果以外について) 与えたことである。

我々が局所化の方法によって得た結果から、BMN 行列模型のパラメータの適切な極限をとることで、超弦理論・M 理論に関する双対性・性質を検証することができる。そのような応用のひとつとして、たとえば、ゲージ・重力対応の検証がある。BMN 行列模型において type IIA 超弦理論に対応する極限をとると、ゲージ・重力対応が正しいのであれば、BMN 行列模型は type IIA 超重力理論の Lin-Maldacena 背景 [6] と等価であると期待されるが、我々はたしかにパラメータの依存性がゲージ理論側 (BMN 行列模型) と重力側で一致することを確認した。また、局所化の結果は M 理論の真空の理解にも役に立つ。BMN 行列模型の真空解はさまざまな Fuzzy sphere 解で与えられ、それぞれの真空解は M 理論の極限で M2-brane や M5-brane の束縛状態を表している。局所化によって得られた結果は、真空間の遷移振幅を instanton 部分以外に関しては厳密に与えるものであり、今後 instanton 部分を決定できれば、M2-brane や M5-brane の束縛状態間の遷移振幅を BMN 行列模型から厳密に計算することができる。

References

- [1] T. Banks, W. Fischler, S. H. Shenker and L. Susskind, Phys. Rev. D **55**, 5112 (1997) [hep-th/9610043].
- [2] N. Ishibashi, H. Kawai, Y. Kitazawa and A. Tsuchiya, Nucl. Phys. B **498** (1997) 467 [arXiv:hep-th/9612115].
- [3] D. E. Berenstein, J. M. Maldacena and H. S. Nastase, JHEP **0204**, 013 (2002) [arXiv:hep-th/0202021].
- [4] Y. Asano, G. Ishiki, T. Okada and S. Shimasaki, Phys. Rev. D **85**, 106003 (2012) [arXiv:1203.0559 [hep-th]].
- [5] Y. Asano, G. Ishiki, T. Okada and S. Shimasaki, arXiv:1211.0364 [hep-th].
- [6] H. Lin and J. M. Maldacena, Phys. Rev. D **74**, 084014 (2006) [hep-th/0509235].

Chiral phase transition in QCD with Critical Fluctuation

基礎物理学研究所 上門和彦

Abstract We discuss the QCD critical point and its critical region. We apply the functional renormalization group method in order to incorporate the critical fluctuations. The influences of the mixing between the chiral condensate and baryon-number fluctuation on the size and sharp of the critical region are addressed.

強い力を通して相互作用をする物質の有限温度、有限密度中での性質が盛んに研究されている。強い相互作用の基礎理論である量子色力学 (QCD) の漸近的自由性および低エネルギーでの強結合性のために、低温低密度の領域の物質には非摂動的性質が出現する。代表的な非摂動的性質としてカイラル対称性の自発的破れがある。QCD の持つカイラル対称性は低温では破れており、温度や密度が高くなるに連れ回復する。このためカイラル対称性の破れをもとにして相構造を議論することができる。実際にカイラル対称性を尊重した有効模型を用いた計算により温度-バリオン化学ポテンシャル平面での相構造は調べられており、多くの計算が QCD 臨界点の存在を示している。QCD 臨界点は二次相転移点であり、それより低温側ではカイラル相転移は一次相転移、高温側では連続転移である。

QCD 臨界点の近傍にはカイラル感受率やバリオン数の感受率が臨界性を示す臨界領域が存在しており [1]、QCD 臨界点の実験的検証のためには臨界領域での物理量の臨界性を見積もることが鍵となる。一般に二次相転移点近傍ではいわゆるソフトモードのゆらぎが増大し、物理量の臨界性を正確に記述するためには、ソフトモードのゆらぎを取り込まなければならない。有限の化学ポテンシャル領域ではカイラル凝縮とバリオン密度の結合が必ず存在するために、QCD 臨界点においてはカイラル凝縮とバリオン密度の線形結合がソフトモードとなることが知られている [2]。よってこれらのソフトモードのゆらぎを含む模型を構成し、ゆらぎを取り込む手法を用いることで臨界領域を探索することができる。

ソフトモードのゆらぎを取り込む手法として、我々は汎関数くりこみ群法を採用する。汎関数くりこみ群法は場の量子論の有効作用を計算する方法の一つであり、近年カイラル相転移の研究にも用いられている。汎関数くりこみ群法の基本方程式は有効作用のスケール依存性を記述する汎関数微分方程式で与えられており、古典作用を境界条件として積分する事によりすべてのスケールのゆらぎを含めた量子的有効作用を計算することが可能となる。

本発表では汎関数くりこみ群法を用いて QCD 臨界点の臨界領域の性質について調べた結果について報告する [3]。増大するバリオン数のゆらぎを取り込むために、バリオン密度に対応する場をカイラル凝縮とクォークの自由度で構成されたクォーク-メソン模型に加えることで、QCD 臨界点の近傍での有効模型を構成した。この模型に対する熱力学ポテンシャルを汎関数くりこみ群法で計算することで、QCD 臨界点近傍での物理量の振る舞いを調べた。臨界点の位置に比較して、臨界領域の大きさや形はカイラル凝縮とバリオン密度との結合の強さに大きく依存することを明らかにした。

References

- [1] Y. Hatta and T. Ikeda. Phys.Rev., D67 (2003), 014028 .
- [2] H. Fujii and M. Ohtani. Phys.Rev. D70 (2004), 014016,
D. T. Son, M. Stephanov, Phys.Rev. D70 (2004), 056001.
- [3] K. Kamikado, T. Kunihiro, K. Morita and A. Ohnishi, arXiv:1210.8347

X-ray Study on the Activity History of Sagittarius A* by Three-dimensional View of the Galactic Center

宇宙線研究室 丸藤竜之介

Abstract This thesis develops a new method to measure the line-of-sight positions of the X-ray reflection nebulae (XRNe) in the Galactic center. Using the X-ray fluxes and three-dimensional positions of multiple XRNe, a light-curve of the super massive black hole is quantitatively derived and the nature of the past activity history is discussed.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

This thesis presents the Suzaku results of the 6.4 keV (FeI-K α) emissions from giant molecular clouds (MCs) in the Sagittarius (Sgr) B, C, D, and E regions. We applied the concept of X-ray reflection nebulae (XRNe) as the echoes of past flares from the super massive black hole (SMBH), Sgr A*, in the Galactic center (GC). The X-ray spectra were analyzed on the basis of a view that XRNe are located inside the Galactic center plasma X-ray emission with an oval distribution around Sgr A*. We revealed that the XRNe, corresponding to MCs in different velocities, are largely separated in the line-of-sight position. The resultant face-on alignment of XRNe around Sgr A* supports the presence of dynamical structures in a central bar potential hypothesized by radio observations. From X-ray parameters of the three-dimensional positions, the 6.4 keV fluxes, and the MC absorption column densities, we reconstructed a long-term light curve of Sgr A*. During the past 50 to 600 years, the SMBH had been in a flare state with X-ray luminosities between $L_x = 1-3 \times 10^{39}$ erg s $^{-1}$, which were far brighter than the present luminosity by a factor of $\sim 10^6$. The light curve was not flat top in the flare epochs, but exhibited significant variations within a factor of ~ 3 . The fluctuations were also confirmed by observations of different short-term (~ 5 years) variabilities in the 6.4 keV flux, of either increase or decrease, from different XRNe in Sgr B and Sgr C. Thus, we concluded that the X-ray activity of Sgr A* in the past 500 years was not a simple single event, but consisted of multiple short flares occurred continuously and sporadically.

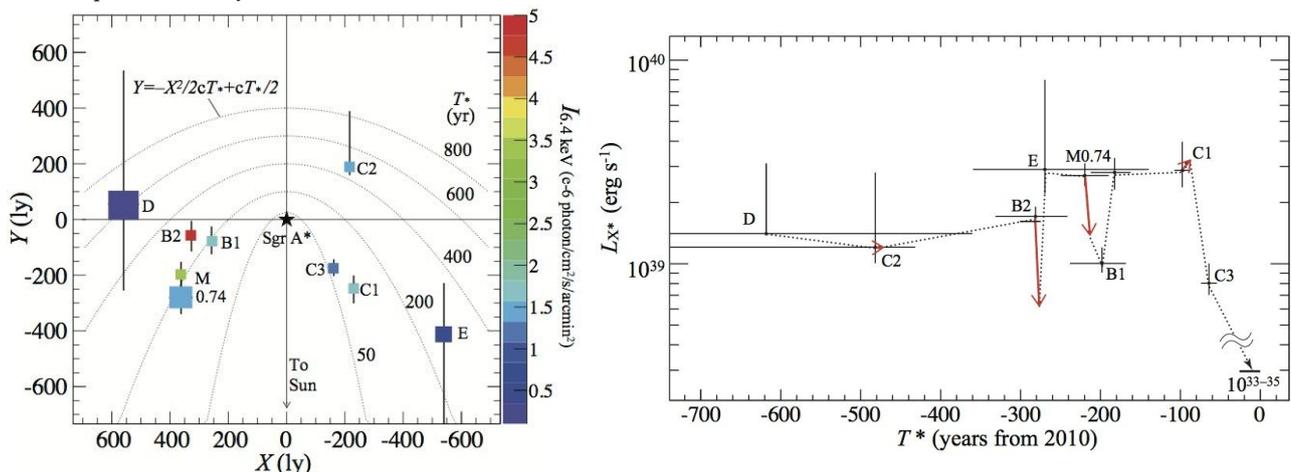


Fig.1. Left: face-on distribution of XRNe in the GC. The parabolas (dashed lines) represent the equal-time delay (T^*) contours for the X-ray echoes from Sgr A*. Right: X-ray light curve of Sgr A* for the past 600 years. The red arrows show the results from observations of short-term 6.4 keV variabilities between 5 years.

References

- [1] Ryu, S. G., *et al.*, 2009, PASJ, 61, 751
- [2] Ryu, S. G., *et al.*, 2013, PASJ, in press, arXiv:1211.4529 [astro-ph.GA]

Inflation in Gauge Mediation

基礎物理学研究所 素粒子論グループ 酒井 学

Abstract We present an inflationary scenario based on a phenomenologically viable model with direct gauge mediation of low-scale supersymmetry breaking. We show that there is a model parameter space where gravitinos can be the dark matter in the present universe.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

インフレーション宇宙モデルは宇宙論における多くの問題を解決することができ、現在では宇宙論の標準模型と考えられている。しかし、インフレーションを引き起こすインフラトンの候補は素粒子の標準模型には存在せず、インフレーションモデルをいかに素粒子論のモデルに埋め込むかが課題となっている。このインフラトンは平坦なポテンシャルを持つ必要があるが、超対称性をもつ模型ではそのような平坦なポテンシャルが自然に実現されるため、超対称性をもつインフレーション模型を考察するのが妥当と考えられる。

一方、超対称性は低エネルギーでは破れていなければならない。しかし、超対称化された標準模型内で超対称性の破れを実現することは困難であるため、通常は標準模型を超対称化したセクターとは別に、超対称性が破れる隠れたセクターを導入し、その破れがなんらかの相互作用で標準模型のセクターに伝達されると考えられている。特に超対称性の破れが標準模型のゲージ相互作用によって伝えられるゲージ媒介模型は、標準模型ですでに厳しく制限されているフレーバーを変える過程 (FCNC) が自然に小さく抑えられているため、有力な超対称性の破れの媒介模型と考えられている。

中でも、隠れたセクターのフレーバー対称性を標準模型のゲージ対称性とみなした direct gauge mediation 模型においては、ゲージノの質量が正しく生成されるためには、一般に模型に複数の真空が存在し、その真空の安定性を保障するために2つの階層的な質量スケールがモデルに導入される必要があることが[1][2]によって示された。

本研究[3][4]では、これら[1][2]を基にして2つの階層的な質量スケールを超対称性の破れのスケールとインフレーションのスケールにとった模型を考察した。我々の模型には、超対称性が破れる真空と保たれる真空が存在し、インフレーション後にインフラトンが超対称性が破れる真空に転がり落ちるために、宇宙の発展の過程でなぜ超対称性が破れる真空が選ばれるのかという疑問に自然に答えることができる。また具体的なゲージ媒介模型とインフレーション模型が与えられているために、インフレーション後のインフラトンの崩壊等を具体的に解析することが可能となり、宇宙全体の歴史を考察できるという特徴がある。またこの模型では、インフレーションのエネルギースケールが高いために、グラビティーノがインフレーション後の再加熱時に大量に生成されてしまうが、これはその後の超対称性の破れに付随したモジュライ場の振動によって十分に薄められることを示した。さらにグラビティーノはモジュライ場の崩壊によっても生成されるが、これら熱的、非熱的に生成されたグラビティーノがダークマターの候補となるようなパラメータ領域が模型に存在することを示した。

References

- [1] Z. Komargodski and D. Shih, J. High Energy Phys. 04(2009), 093, arXiv:0902.0030.
- [2] R. Kitano, H. Ooguri and Y. Ookouchi, Phys. Rev. D 75(2007), 045022, hep-ph/0612139.
- [3] Y. Nakai and M. Sakai, Prog. Theor. Phys. 125 (2011) 395 [arXiv:1004.2099 [hep-ph]].
- [4] K. Kamada, Y. Nakai and M. Sakai, Prog. Theor. Phys. 125, 395 (2011) [arXiv:1103.5097 [hep-ph]].

In(²⁸Si, π[±])X 反応を用いた対称エネルギーの決定

原子核・ハドロン物理学研究室 酒向正己

Abstract It is proposed that π⁻/π⁺ ratio from heavy-ion reactions in intermediate-energy can constrain nuclear symmetry energy at supra-normal densities. We carried out experiments at HIMAC to measure π⁺ and π⁻ from In(Si, pi)X reaction at three different energies.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

中性子星の構造を決定する為には、原子核物質全体を支配する状態方程式(EOS)を広い密度領域で決定する必要があるが、現状ではモデル依存性が強く、中性子星の半径と質量の関係さえ、明らかにできていない。EOSの中でも、核物質中の核子の持つ平均エネルギーEは、経験的に

$$E(\rho, \delta) = E(\rho, 0) + E_{\text{sym}}(\rho)\delta^2$$

と表される事が知られている。核物質の密度 $\rho = \rho_p + \rho_n$ 、アイソスピン非対称度 $\delta = (\rho_p - \rho_n) / (\rho_p + \rho_n)$ 、陽子・中性子密度 $\rho_p \cdot \rho_n$ である。アイソスピン非対称項のうち、 δ^2 の係数を対称エネルギー $E_{\text{sym}}(\rho)$ と呼び、これを広い密度領域で決定する事が、核物理の重要なテーマの一つである。

これまで、 $E_{\text{sym}}(\rho)$ は核子飽和密度($\rho_0 = 0.16 \text{ fm}^{-3}$)以下の密度において、Sn+Sn 反応での isospin diffusion の測定[1]、 ρ_0 近傍において、不安定核 skin 厚の測定[2]などにより、実験的制限を加えられている。しかし、これらの情報のみでは、高密度領域での $E_{\text{sym}}(\rho)$ の密度依存性は stiff なのか soft なのかさえ、決定できずにいる。中性子星 J1614-2230 (2solar mass) の測定[3]により、 $E_{\text{sym}}(\rho)$ は比較的 stiff な傾向を持つと考えられているが、いまだ大きなモデル依存性を残している。

そこで我々は、モデル依存性の大きい核子密度 $2\rho_0$ 程度の領域に注目した。核子あたり数百 MeV での重イオン衝突により、高密度状態を一時的に作り出す事ができる。そして、放出される π^+, π^- はこの情報を含んでおり、特に π^-/π^+ 比は、ビームエネルギーと衝突系の N/Z 依存性を測定する事が、 $E_{\text{sym}}(\rho)$ 決定に繋がるという理論予想[3]を受け、荷電パイオンの測定を行った。放射線医学総合研究所の HIMAC にて、核子あたり 400, 600, 800 MeV の In(²⁸Si, π[±])X 反応を使い、プラスチックシンチレータを 13 枚重ねたパイオンレンジカウンターを開発し、幅広いエネルギーレンジにおいて π^+, π^- の同時測定を行った。

Fig. 1(a)~(c)にそれぞれ、400AMeV、600AMeV、800AMeV の解析結果(preliminary)を示した。横軸に mid rapidity frame での荷電パイオンのエネルギー(E_{mid})、縦軸に π^-/π^+ 比を取った。実験室系での各角度の測定点は E_{mid} と相関を示し、その分布にビームエネルギー依存性が存在する事を確認した。これは衝突の際に生成された moving source から放出された π^+, π^- を測定している事を示唆している。今後は、このデータと理論計算 IBBUU11 を比較する事により、 $E_{\text{sym}}(\rho)$ に制限を加える事を目指す。

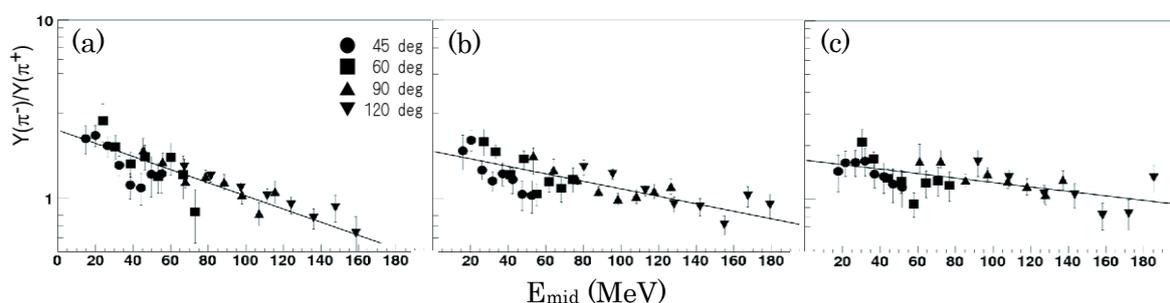


Fig.1: Pion ratio as a function of kinematic energy in a mid-rapidity(E_{mid}) frame for In+²⁸Si collision at 400(a), 600(b), and 800(c) AMeV.

References

- [1] M.B. Tsang et al., Phys. Rev. Lett. **92** (2004), 062701.
- [2] M.B. Tsang et al., Phys. Rev. C **86** (2012), 062701.
- [3] Demorest et al. Nature **467** (2010), 1081.
- [4] Bao-An Li, Gao-Chan Yong, and Wei Zuo, Phys. Rev.C **71**, 014608 (2005).

J-PARC E15 実験における in-flight³He(K-,n)反応での K 中間子原子核の探索

原子核・ハドロン研究室 佐田優太

Abstract The J-PARC E15 experiment will be performed to search for the simplest kaonic nuclear bound state, K^-pp , by the in-flight ${}^3\text{He}(K^-,n)$ reaction. An overview of the experiment and analysis of engineering runs will be presented.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

反 K 中間子は核子との強い引力があり、K 中間子が原子核中に入ることによって束縛状態を作る可能性がある (K 中間子原子核)。この K 中間子原子核は従来の原子核の核密度を大きく上回ると言った理論予想 [1] もあり、低温高密度状態のハドロンのプローブとなる可能性もある。最も単純な構造の K 中間子原子核である K^-pp には (K^-p 束縛状態は $\Lambda(1405)$ であると考えられている) イタリアの FINUDA 実験 [2] やフランスでの DISTO 実験 [3] でその状態が観測されているが束縛エネルギーや崩壊幅は一致しているわけではなく、束縛状態を仮定しない解釈も示唆されている。また K^-pp 状態の様々な理論予測がなされているが計算手法やモデルによりその束縛エネルギーと幅は多岐にわたっており、他の反応を用いた実験によるさらなる理解が必要とされている。

J-PARC E15 実験 [4] では 1 GeV/c の K 中間子 beam を液体 ${}^3\text{He}$ 標的に照射することで主に in-flight ${}^3\text{He}(K^-,n)$ 反応での K 中間子原子核の探索を目指している。本実験では下図のようなセットアップにおいて上流の beam spectrometer によって 1 GeV/c K^- beam を 0.2% の分解能で運動量を決定できる。 ${}^3\text{He}$ 標的を中心とした円筒形検出器群 (CDS) によって K^-pp からの崩壊粒子を捉えて ($K^-pp \rightarrow \Lambda p$) 不変質量法により質量を測定する。また同時に ${}^3\text{He}(K^-,n)$ 反応で前方へ飛ばされた中性子の Time-of-flight (TOF) を Neutron Counter にて観測して欠損質量法によっても K^-pp の観測を行う。このように本実験では不変質量と欠損質量を同時に測定することで K^-pp の生成から崩壊までを総合的に観測することが可能である。

K1.8BR は 2012 年 6 月におよそ 2 日間行った J-PARC の二次ビームを用いての Engineering run の結果 [5] より各検出器の性能を評価し、不変質量法と欠損質量法共に 10 MeV/c² ほどの分解能があることを確認した。これは観測を目指す K^-pp の束縛状態を見るのに充分である。

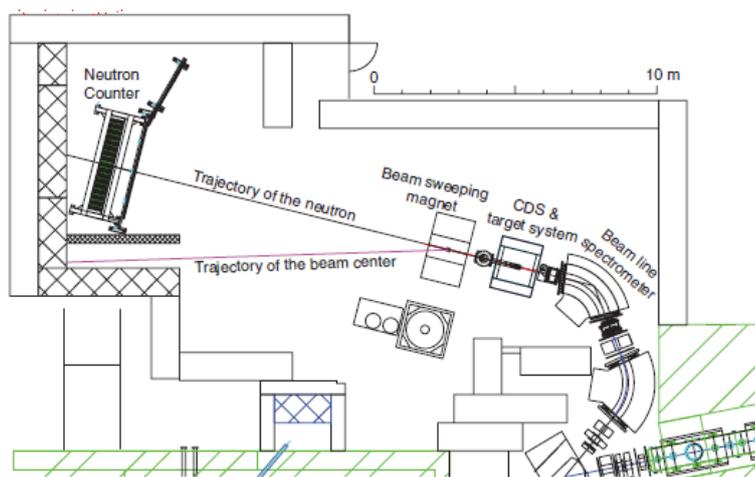
本発表では主に本実験の概要と昨年 6 月の Engineering run の結果より各検出器の性能評価と今年 3 月に予定される Physics run の収量予測について報告する。

References

- [1] A. Dote, H. Horiuchi, Y. Akaishi, and T. Yamazaki., Phys. Rev. **C70**, 044313 (2004).
- [2] M. Agnello *et al.*, Phys. Rev. Lett. **94**, 212303 (2005).
- [3] T. Yamazaki *et al.*, Phys. Rev. Lett. **104**, 132502 (2010).
- [4] M. Iwasaki, T. Nagae (E15 collaboration). J-PARC E15 proposal.

<http://j-parc.jp/NuclPart/pac0606/pdf/p15-Iwasaki.pdf>

- [5] K. Agari *et al.*, Prog. Theor. Exp. Phys. **02B011** 28 (2012)



QGP 中の低エネルギー領域における 新しいフェルミオンの励起

原子核理論研究室 佐藤大輔

Abstract In quark-gluon plasma at high temperature, simple perturbation theory that is applicable in soft scale ($\sim gT$) loses its validity in ultrasoft region ($\sim g^2T$). We develop a resummed perturbation theory applicable in this energy region and show that a novel fermionic excitation exists in the ultrasoft region.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

結合定数 (g) が小さく粒子の質量が無視できる程の高温 (T) におけるクォーク・グルーオンプラズマ (QGP) の解析の際には、スケールに応じて異なる手法を用いる必要がある。 gT 程度のエネルギー領域においては、hard thermal loop (HTL) 近似[1]と呼ばれる簡単な摂動展開が適用可能であり、その手法を用いた解析の結果、プラズモンと呼ばれるボソンの集団運動とプラズミーノ[2]と呼ばれるフェルミオンの集団運動が出現する事が示唆されている。一方で、 g^2T 程度のエネルギー領域では HTL 近似が赤外発散のために適用できないため、その領域での集団運動の有無は十分調べられていなかった。

本発表では、QGP を記述する基礎理論である量子色力学 (QCD) において g^2T 領域におけるクォークのスペクトルを、赤外発散を正則化するように改善された摂動展開を用いて解析する。QCD より簡単な模型として、まず湯川模型および量子電磁力学 (QED) において同様の解析を行う。QED および QCD においては、湯川模型の場合と異なり梯子型ダイアグラムの足しあげが必要となる。これはゲージ対称性によるものである。

解析の結果、湯川模型、QED、および QCD において新しいフェルミオンの励起が g^2T 領域に存在する事を示し、その励起の分散関係、崩壊幅、および強度の表式を得る。また、この励起とカイラル対称性の関係についても議論する。さらにゲージ理論の場合、改善された摂動展開の基礎方程式から得られる解は、ゲージ対称性から導かれる恒等式であるワード-高橋恒等式を満たす事を示す。

時間が余ればその後の発展 (改善された摂動論の系統的な導出[3]や、有限密度の場合の解析) についても紹介する。

なお、本発表の内容は文献[4]に基づく。

References

- [1] J. Frenkel and J. C. Taylor, Nucl. Phys. B **334**, 199 (1990); E. Braaten and R. D. Pisarski, Nucl. Phys. B **339**, 310 (1990).
- [2] H. A. Weldon, Phys. Rev. D **26**, 2789 (1982).
- [3] D. Satow and Y. Hidaka, Phys. Rev. D **85**, 116009 (2012).
- [4] Y. Hidaka, D. Satow and T. Kunihiro, Nucl. Phys. A **876**, 93 (2012).

J-PARC における (π^-, K^+) 反応を用いた 中性子過剰ハイパー核 ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ の研究

原子核・ハドロン物理学研究室 杉村 仁志

Abstract We carried out ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ hypernucleus production experiment by utilizing the (π^-, K^+) double charge-exchange reaction at 1.2 GeV/c on a ${}^6\text{Li}$ target at J-PARC. It is important to understand coherent $\Lambda\text{N}-\Sigma\text{N}$ coupling effect in neutron-rich hypernuclear isotopes. The current analysis status of ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ production will be presented.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

これまで Λ ハイパー核は KEK や CERN, BNL を中心に 40 核種程度見つけられてきた。特に p 殻ハイパー核はゲルマニウム検出器を用いたガンマ線分光実験により、 Λ と核子のスピン依存相互作用も含めて精密な情報が分かってきた。しかし s 殻ハイパー核については ΛN 相互作用を使って Dalitz が理論的に予想していたエネルギー準位が実験値に対して大きくずれていることが長い間の問題となっていた[1]。

しかし、2001 年に赤石らの理論計算により、 ΛN 間の相互作用に加えて ΛNN 間の有効 3 体相互作用を加えることでエネルギーのずれをうまく説明することができるようになった[2]。この 3 体相互作用は原子核内部での $\Lambda\text{N}-\Sigma\text{N}$ のコヒーレントな結合状態として解釈することができる。 Λ 粒子と Σ 粒子は質量差が小さいため ($\sim 80\text{MeV}/c^2$)、強い相互作用によって $\Lambda\text{N} \leftrightarrow \Sigma\text{N}$ の変化が容易に起こる。この変化は Λ 粒子が束縛されている原子核のコアのアイスピンが大きいほどより顕著になる。そのため、アイスピンがより大きな中性子過剰ハイパー核を実験的に研究し、理論計算で提唱された 3 体相互作用の大きさを測定することは重要な研究課題である。

2012 年に FINUDA グループにより、3 事象の ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ が見つかったとの報告がなされた[3]。この報告によると、束縛エネルギーは赤石理論とは反する結果で Dalitz の 3 体相互作用を用いないモデルと一致するという報告であった。しかし、3 事象という統計量の少なさであり、大強度ビームを利用できる J-PARC での実験で統計を上げることで、3 体力の効果調べる重要な情報を与えることが期待される。

そこで我々は J-PARC K1.8 ビームラインにおいて ${}^6\text{Li}$ 標的を用い、 (π^-, K^+) 反応を利用して ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ ハイパー核を生成する実験を 2012 年 12 月から 2013 年 1 月にかけて行った。標的の厚さは過去に (π^-, K^+) 反応で行われた KEK-E521 実験[4]との分解能比較のため、 $3.5\text{g}/\text{cm}^2$ にすることにした。上記 FINUDA 実験とのエネルギー準位の議論のため、約 0.1MeV の精度でエネルギー準位を質量欠損法により測定しようと試みた。そのために収量として 100 事象以上の統計が必要だが、予想される生成断面積は約 $10\text{nb}/\text{sr}$ と極めて低い。限られた時間で統計量を上げるためにビーム強度を $10\text{Mpions}/\text{spill}$ に設定し、データ収集を行った。図 1 は予想されるエネルギースペクトルであり、 2.5MeV のエネルギー分解能の場合 QF (quasi-free) 事象からシグナルを明確に分離することができる。

また、質量欠損較正用のデータとして ${}^{12}_{\Lambda}\text{C}$ や Σ 生成実験も行い、検出器やスペクトロメータが過去の実験と同じ性能を維持していることも確認した。

博士発表会においては、 ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ の現在の解析状況の報告を行う予定である。

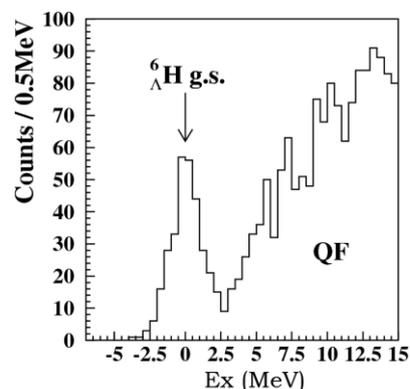


図 1 予想されるエネルギースペクトル(シミュレーション)

References

- [1] R.H. Dalitz *et al.*, Nucl. Phys. **B47** (1972) 109.
- [2] Y. Akaishi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **84** (2000) 3539.
- [3] M. Agnello *et al.*, Phys. Rev. Lett **108** (2012) 042501 .
- [4] P.K. Saha *et al.* Phys. Rev. Lett. **94** (2005) 052502.

Large D 展開による高次元ブラックホールの解析

天体核研究室

鈴木良拓

Abstract The large D (dimension) expansion for the higher dimensional General Relativity will be introduced. For example, the instability of the black string will be analysed.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

高次元におけるブラックホールは4次元におけるよりもより多様で複雑な構造を持つことが分かってきており、近年多くの研究者を惹きつけて止まない研究対象である。高次元においてはもはやブラックホールは球対称とは限らないため、一般に直接 Einstein 方程式を解くことは益々困難になりつつある。特に6次元以上においては非球対称な厳密解は見つかっていないため、高次元ブラックホールの解析には数値解による解析や摂動法による解析が重要になってくる。

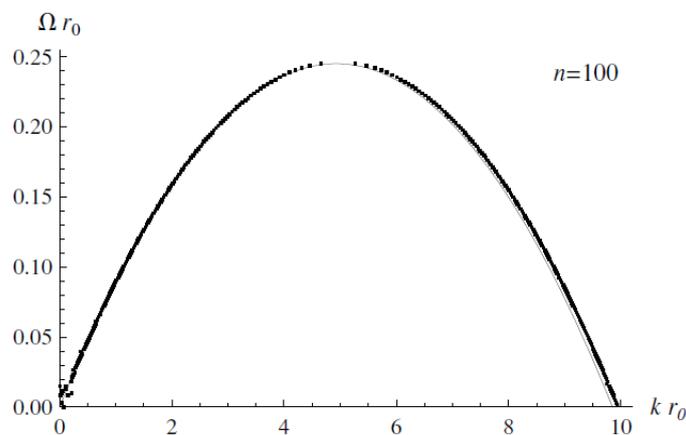


Fig. 1. The dispersion relation of the Gregory-Laflamme instability in $D=104$ derived by the long wavelength limit (gray curve) and the numerical calculation (plot).

本発表においては、摂動的な解析法の一つとして large D 展開を紹介する。実際に 10 より大きい D をとるのは物理的には意味がない可能性があるが、large D 極限は AdS/CFT における $SU(N)$ の large N 極限のアナロジーと捉えることもでき、一般に解析が困難な高次元重力の非線形的な性質を定性的に理解することができる。 D 次元時空における重力の自由度は $D(D-3)/2$ であり D が大きい極限において重力は流体的なふるまいをすると予想されている。実際に流体極限(長波長極限)における Gregory-Laflamme 不安定の分散関係の解析は D が大きい極限において数値解析の結果と非常によく一致すること (Fig.1) が分かっている [1]。Black String の Gregory-Laflamme 不安定については既に Threshold モードについて Large D 極限における解析がされており [2] [3]、これらの方法を応用して一般の分散関係について解析する。

References

- [1] J. Camps, R. Emparan and N. Haddad, JHEP **1005**, 042 (2010) [arXiv:1003.3636].
- [2] B. Kol and E. Sorkin, Class. Quant. Grav. **21**, 4793 (2004) [gr-qc/040758].
- [3] Asnin et.al, Class. Quant. Grav. **24**, 5527 (2007) [arXiv:0706.1555 [hep-th]].

Stability Analysis of Black Hole Solutions in Lovelock Theory

天体核研究室 高橋智洋

Abstract We study stability of spherically symmetric black holes in Lovelock theory that is a natural higher dimensional extension of Einstein theory. We clarify criteria for instability and show that sufficiently small black holes satisfy these conditions. This indicates that black holes with small mass cannot be created in Lovelock theory.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

Braneworld models with large extra dimensions predict that higher dimensional black holes may be produced at colliders. Thus, it is important to examine what kind of properties they have. Among the properties, from the viewpoint of production, stability is thought to be the most important. This is because stationary solutions, when they are unstable, are not attractors of dynamics. This indicates that unstable black hole solutions are not realized.

We analyze stability of black hole solutions in Lovelock theory that is a natural higher dimensional extension of 4-dimensional Einstein theory. In Lovelock-Maxwell system, there exist static spherically symmetric black hole solutions with two parameters that express mass and charge. Because of the spherical symmetry, we can decompose perturbations around these solutions into three types: tensor-type, vector-type and scalar-type perturbations. For each type of perturbations, we find a variable that describes all perturbative variables. And also construct evolution equations for these three variables [1]. For vector-type perturbations, we show that Lovelock black holes are stable by using the evolution equation. Contrarily, for tensor-type and scalar-type perturbations, we clarify the conditions that detect the instability of black holes [2,3]. The instability becomes stronger as the frequency becomes higher, and the timescale of the instability tends to 0 when we take the high frequency limit. When black holes are neutral, we analytically check the conditions and show that sufficiently small Lovelock black holes are unstable in all dimensions [2]. When they have charge, we numerically examine these criteria and show that nearly extreme black holes have the above instability [3]. These results suggest that, in Lovelock theory, black holes with sufficiently small mass cannot be produced: even though they are produced with large mass, they lose their mass by Hawking radiations and receive the instability. Because of the feature of this instability, the resultant objects are thought to be serrate. We conjecture that such non-smooth objects emit anisotropic Hawking radiations, and we expect that such anisotropic radiations can be one of the evidence for the existence of the Lovelock terms.

References

- [1] T.Takahashi and J.Soda, Prog. Theor. Phys. 124, 911 (2010).
- [2] T.Takahashi and J.Soda, Prog. Theor. Phys. 124, 711 (2010).
- [3] T.Takahashi, Prog. Theor. Exp. Phys. 2013, 013E02.

Gravitational Exact Solutions with Sasakian Structure in Superstring Inspired Theories

素粒子論研究室 竹内 寛

Abstract Assuming Sasakian structure, we construct new exact solutions in several gravitational theories. In Supergravity, we succeed in the investigation of two theories, 5-dimensional gauged minimal SUGRA and 11-dimensional SUGRA. In Einstein Gauss-Bonnet gravity, the spacetime we obtain is spinning, asymptotic AdS, Maxwell-charged in all the odd dimensions higher than 3.

高次元時空上の重力解として実現される Sasakian geometry は、幾つか理論物理の分野を跨ぎ、その相互発展に寄与している。Sasakian structure は 1960 年代に幾何学の権威佐々木重夫氏が提唱し、抽象論的に諸性質が解明されたのだが[1]、非自明な具体例が見当たらない事から長らく進展が滞っていた。しかし近年、Einstein 重力の厳密解である Sasaki-Einstein 多様体で非均質なものの具体形が発見されたこと[2]を契機に、再度注目を集めている。この非自明な具体例が、数理物理学的な関心を煽ると共に、AdS/CFT 対応への応用も果たしたためである。重力双対側の余剰空間を丸め込むコンパクト多様体に用いられる事で、超対称性を下げた場合の双対性を解析する事に貢献した。また、超弦理論側からの要請を汲み、数理物理の側では超対称性を仮定したこの geometry の抽象的な一般化等も進められている。

更に、Sasakian geometry の一部はブラックホール物理とも関係するという示唆があった。発見された具体形が、角運動量の縮退した回転ブラックホール解のある種の極限に対応している事が指摘され、縮退を外した場合の極限対応によって新たな Sasaki-Einstein 解が構築された[3]。ここで、この極限対応は、Einstein 重力理論の解同士を繋いでいるのだが、対称性の観点からその拡張が提唱されている。Einstein 方程式の要請を外した off-shell の計量に対し、両側で isometry が同型で CKY テンソル等から成る hidden symmetry にも対応関係のある拡張が確認されたためである。しかしながら、この拡張の中に他の理論の重力解が含まれているのかは不明であり、物質場と結合したブラックホール解等に対してこの対応関係があるのか否かは解明されていなかった。

本研究では、この対応関係解明を進展させるべく、諸重力理論で Sasakian structure を備える厳密解の構成を図った。解析する重力理論は上述の超弦理論への貢献に鑑み、string origin のものとした。

まず超重力理論について、5次元の gauged minimal SUGRA で知られた回転荷電ブラックホールの極限に対応する新たな厳密解の構成に成功した[4]。すると、この解が歴史深い Sasakian geometry の条件を一部破っている事が判明した。その破れが物質場の flux と直結しており、他の物質場結合解にも生じ得ると推察された事から、この受け皿となる幾何的構造を torsion の導入により構成した(ST structure)。そして他の超重力理論を解析し、11次元 SUGRA において新たに ST 厳密解を発見した。

また、Einstein Gauss-Bonnet (EGB)重力理論についても解析し、新たな Sasakian solution を発見した[5]。EGB 重力理論は Einstein 重力に stringy な量子補正を加えたものだと言われている。この重力理論には、回転ブラックホールを示す厳密解が未発見だという問題がある。回転した厳密解も殆ど見つかっていない中、静的なブラックホールは盛んに研究され、数値解析では回転ブラックホール解の存在が肯定されている事から、その厳密解の発見が望まれていた。本研究では、5次元以上の奇数次元時空で、漸近 AdS かつ Maxwell 場も加えられる定常非静的な厳密解を構成した。この解は 5次元時空において、唯一既知であった回転した厳密解[6]と非自明な関係にある。この新解について、保存量を AD formalism で計算することにより、実際に有限の角運動量を持ち、回転していることを検証した。これらの解は、その計量自体における物理以外に、未知のブラックホール解の極限である可能性も有している。

References

- [1] Shigeo Sasaki, I Tohoku Math. J. (2) 12 (1960), 45976. MR 23 A591.
- [2] J. P. Gauntlett, D. Martelli, J. Sparks and D. Waldram, Adv. Theor. Math. Phys. 8, 711 (2004).
- [3] M. Cvetič, H. Lu, D. N. Page and C. N. Pope, Phys. Rev. Lett. 95, 071101 (2005).
- [4] T. Houri, H. Takeuchi and Y. Yasui, arXiv: 1207.0247 [hep-th].
- [5] Hiroshi Takeuchi, arXiv: 1211.5963 [hep-th].
- [6] Misao Sasaki, *et al.*, Class. Quant. Grav. 26, 065002 (2009).

Hawking–Moss Instantons in non-linear Massive Gravity についての研究

基礎物理学研究所 章穎理

Abstract We study the Hawking–Moss instanton that sits at a local maximum of the potential in the context of non-linear Massive Gravity and evaluate the dependence of the tunneling rate on the parameters of the theory.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

We study a tunneling of a minimally coupled scalar field σ between two vacua in non-linear massive gravity [1]. It is described by a 4-dimensional metric $g_{\mu\nu}$, a fiducial metric G_{ab} , and the Stuckelberg fields ϕ^a . The action is given by [2]

$$S = I_g + I_m, \quad I_g \equiv \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{R}{2} + m_g^2 (\mathcal{L}_2 + \alpha_3 \mathcal{L}_3 + \alpha_4 \mathcal{L}_4) \right], \quad I_m \equiv - \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{1}{2} (\sigma)^2 + V(\sigma) \right], \quad (1)$$

where

$$\mathcal{L}_2 = \frac{1}{2} \left([\mathcal{K}]^2 - [\mathcal{K}^2] \right), \quad \mathcal{L}_3 = \frac{1}{6} \left([\mathcal{K}]^3 - 3 [\mathcal{K}] [\mathcal{K}^2] + 2 [\mathcal{K}^3] \right), \\ \mathcal{L}_4 = \frac{1}{24} \left([\mathcal{K}]^4 - 6 [\mathcal{K}]^2 [\mathcal{K}^2] + 3 [\mathcal{K}^2]^2 + 8 [\mathcal{K}] [\mathcal{K}^3] - 6 [\mathcal{K}^4] \right), \quad \mathcal{K}_\nu^\mu \equiv \delta_\nu^\mu - \sqrt{g^{\mu\sigma} G_{ab}(\phi)_\nu \phi_\sigma^a \phi^b}. \quad (2)$$

By assuming the O(4) symmetry in both metrics, we obtained three branches of the solution and analyzed the ones which correspond to the self-accelerating branches. We analyzed the contribution of the graviton mass terms to the Euclidean action, hence to the tunneling rate. The Euclidean action of the HM instanton is found to be

$$S_{\text{HM}} \equiv S_E[a_{\text{HM}}, \sigma_{\text{top}}] = - \frac{8\pi^2}{H_{\text{HM}}^2} \left[1 - \frac{Y_\pm X_\pm}{6\alpha_{\text{HM}}^4} \left(\frac{m_g}{H_{\text{HM}}} \right)^2 \left(2 - \sqrt{1 - \alpha_{\text{HM}}^2 (2 + \alpha_{\text{HM}}^2)} \right) \right], \quad (3)$$

$$X_\pm = \frac{1 + 2\alpha_3 + \alpha_4 \pm \sqrt{1 + \alpha_3 + \alpha_3^2 - \alpha_4}}{\alpha_3 + \alpha_4}, \quad Y_\pm = 3(1 - X_\pm) + 3\alpha_3(1 - X_\pm)^2 + \alpha_4(1 - X_\pm)^3, \quad (4)$$

which have two distinct terms: in addition to the standard contribution determined by the Hubble parameter of the HM solution, we obtained a mass-dependent non-standard term. To study the effect of this latter non-standard contributions, we compared the tunneling rate to that in GR for the same value of the Hubble parameter.

Thus, the enhancement or suppression of the tunneling rate relative to GR is determined by the sign of a quantity, denoted by Y_\pm , so it depends on the model parameters α_3 and α_4 .

References

- [1] C. de Rham, G. Gabadadze and A. J. Tolley, Phys. Rev. Lett. 106, 231101 (2011). [arXiv:1011.1232 [hep-th]]
- [2] Y. Zhang, R. Saito and M. Sasaki, arxiv:1210.6224 [hep-th].

Evaluation of the performance of a Charged particle detector for K^0 TO experiment

物理第二教室 高エネルギー物理学研究室 内藤 大地

Abstract The $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ is a rare CP-violating decay process. K^0 TO experiment aims to search for the decay. In the experiment, charged K_L decay exists 10^{11} times larger than $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$. To reject these, I developed a charged particle detector counter and evaluated its performance at the K^0 TO beam line.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

In modern physics, no confirmed theory can explain an imbalance between matter and antimatter. CP-violation has an important role for this explanation. But in Standard model (SM), amplitude of CP violation is too small. Therefore, we need a further CP-violating process. The $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ is a rare direct CP-violating decay and an uncertainty of the branching ratio predicted in SM is small. For these features, a gap between a measured branching ratio and the SM prediction is a powerful tool for searching new physics [1]. The first goal of K^0 TO experiment is to observe this decay for the first time. To achieve this purpose, we use an upgraded detector from the former pilot-experiment (KEK E391a [2]) and a high intensity Kaon beam at J-PARC.

For the identification of $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$, we measure two gamma from this decay by a CsI calorimeter and ensure no extra particle exists by surrounding veto counters (fig. 1). Because the branching ratio predicted in SM is too small (2.4×10^{-11}), rejection power for the extra particle is important.

In particular, Charged Veto (CV), I developed, is a key component of the observation. CV is a charged particle detector just upstream of the calorimeter and consists of plastic scintillator. An important role of CV is to reject charged Kaon decays by more than 10^{10} detecting charged particles. Among such backgrounds, $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ is a main source. In transition from the outside to the inside of a scintillator, if π^- reacted $\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$, no particles from the reaction were detected in CV. In addition, π^+ is also able to react similar process.

In this study, to achieve the requirement of BG rejection, I found CV must detect 100 keV and needs high light yield (10 p.e./100keV) to detect π^- pass through only 0.5mm in scintillator. For the high light yield, I designed a scintillator counter using HAMATSU Multi Pixel Photon Counter (MPPC) which has high photon detection efficiency and wavelength shifting fiber (WLSF) which reduces attenuation of light (fig. 2). Second, I studied following contents and constructed CV.

- 1) Study for a combinations of scintillators and WLSFs to maximize light yield.
- 2) Development of MPPC with Peltier cooling system, preamplifier and control system for MPPC.
- 3) Study for the production of scintillator counter and evaluation system for them.

After the construction, I installed and evaluated CV in K^0 TO beam line, found whole CV satisfy requirement of light yield and ensure the rejection power for the observation.

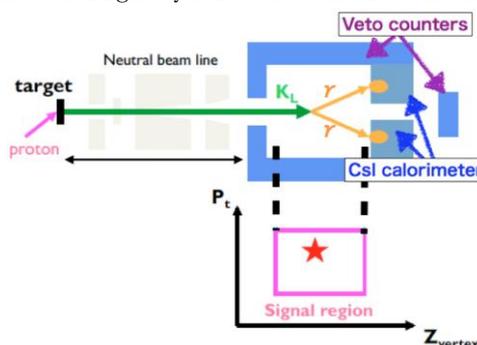


fig. 1 identification method

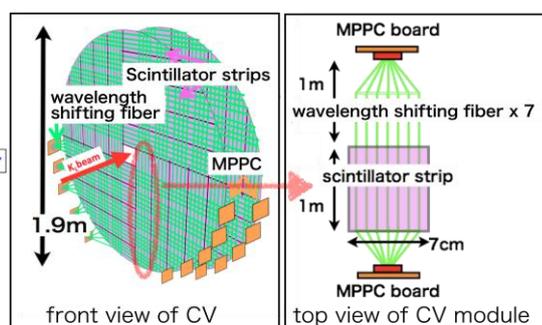


fig. 2 CV structure

References

- [1] A. J. Buras, S. Uhling, and F. Schwab, Rev. Mod. Phys. 80, 965 (2008)
- [2] J. K. Ahn et al., Phys. Rev. D 81, 072004 (2010)

Strong-coupling Analysis of Lattice QCD

原子核理論研究室 中野 嵩士

Abstract Strong-coupling lattice QCD is one of the methods to investigate the non-perturbative phenomena in QCD. We investigate the QCD phase diagram and new lattice fermions by this method. We treat the chiral and deconfinement transitions in the QCD phase diagram, and show the applicability of new lattice fermions.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

Physics of the QCD phase diagram is related to the form of matter in the beginning of our universe and the final form of matter in neutron stars. The QCD phase transition has two aspects: the chiral and deconfinement transitions. Recent lattice Monte-Carlo simulations demonstrate that the two transitions occur simultaneously at small quark chemical potential. However, it is difficult to carry out Monte-Carlo simulations at high chemical potential because of the sign problem. As one of methods to investigate the two transitions in the finite chemical potential region, we often use chiral effective models with the Polyakov loop.

Strong-coupling lattice QCD is another method to investigate phase transitions at finite chemical potential on the basis of lattice QCD. In the first part of this thesis, we treat the chiral [1] and deconfinement phase transitions at finite temperature and quark chemical potential by using the strong-coupling lattice QCD [2]. We clarify the effects of the Polyakov loop which is the order parameter of the deconfinement phase transition. The Polyakov loop is found to suppress the chiral condensate and to reduce the chiral transition temperature at zero and finite chemical potentials. We also show the difference between the strong-coupling lattice QCD and the chiral effective model with the Polyakov loop.

Lattice gauge theory is the most reliable method which enables us to analyse gauge theories non-perturbatively. In this theory, we can carry out the functional integral using Monte-Carlo simulations by discretization of spacetime. There must be the extra degrees of freedom for fermions on the lattice if we impose the chiral symmetry. Some kinds of lattice fermions have been proposed to avoid this problem. Although these fermions are successful to analyse QCD, these fermions have some problems such as high numerical costs.

Recently, new lattice fermions, referred to as staggered-Wilson fermions, are developed. We can expect that these lattice fermions have lower numerical costs than existing fermions. However, these fermions break chiral symmetry explicitly. In the latter part of this thesis, we investigate the properties of these new fermions by using the strong-coupling lattice QCD [3]. Especially we study the properties of the chiral limit in terms of the parity phase structure. Our results strongly suggest that we can perform lattice Monte-Carlo simulations in the chiral limit with these fermions by tuning the mass parameter.

References

- [1] K. Miura, T. Z. Nakano, A. Ohnishi and N. Kawamoto, Phys. Rev. D 80 (2009), 074034;
K. Miura, T. Z. Nakano and A. Ohnishi, Prog. Theor. Phys. 122 (2009), 1045;
T. Z. Nakano, K. Miura and A. Ohnishi, Prog. Theor. Phys. 123 (2010), 825.
- [2] T. Z. Nakano, K. Miura and A. Ohnishi, Phys. Rev. D 83 (2011), 016014.
- [3] T. Misumi, T. Z. Nakano, T. Kimura and A. Ohnishi, Phys. Rev. D 86 (2012), 034501.

Development and construction of the charged particle veto detector for a $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ search experiment

高エネルギー物理学研究室

前田 陽祐

Abstract A high efficient charged particle veto detector with a small amount of materials is developed and constructed to search for CP-violating rare decay $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ in the J-PARC K^0 TO experiment. The whole detector was successfully installed in the K^0 TO beamline, and the performance was confirmed to be excellent enough as designed.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

The CP-violating rare decay $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ has high potential to search for new physics beyond the standard model (SM). The K^0 TO experiment in the Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC) aims to search for this decay with the sensitivity of 10^{-11} , which is comparable to the SM branching ratio prediction [1] and corresponds to thousand times higher sensitivity than the previous experiment [2]. To achieve this sensitivity, elimination of backgrounds, which mainly derive from K_L decays and neutron interactions, is essential.

This decay is identified by the detection of two photons from π^0 by an electromagnetic calorimeter with no other activities in “veto detectors” which surround the whole decay region. The Charged particle Veto detector (CV) is located in front of the calorimeter. In the K_{e3} ($K_L \rightarrow \pi e \nu$) and $K_{\mu 3}$ ($K_L \rightarrow \pi \mu \nu$) decays, which are the K_L major decay modes, emitted two charged particles can fake as two photons from $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ and these events must be completely distinguished with high detection efficiency to reject such K_L decay backgrounds. On the other hand, the amount of materials should be small since this detector itself can produce another background; π^0 production in the detector materials by irreducible neutrons in the beam halo.

In this study, the sources of CV inefficiency were examined and the actual detector, which was able to handle both kinds of backgrounds, was constructed. This detector consists of 92 modules in two planes, each module is a combination of plastic scintillator and wavelength shifting fibers coupled with semiconductor photo sensors at the both ends as shown in Fig.1. Production of all modules by the dedicatedly developed systems to glue the scintillator and fibers automatically, their assembly and installation of the whole detector were successfully done. The photo of the assembled detector is shown in Fig.2. Its operation in the neutral K_L beam was tested and the performance was confirmed to be excellent enough to the requirements in the K^0 TO experiment.

The details of the inefficiency study, module production process and the results of performance test of CV will be presented.

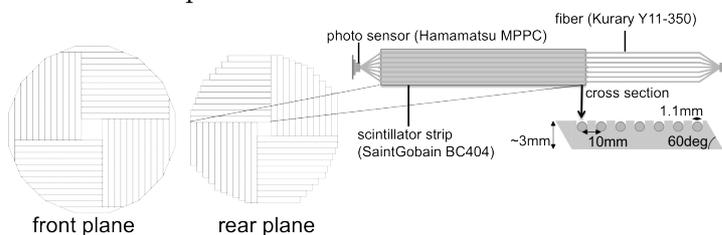


Fig. 1. Design of CV. It consists of 2 planes and each contains 48(front plane) and 44(rear plane) modules shown in the left side.



Fig. 2. The assembled detector.

References

- [1] J.Brod, M.Gorbahn and E.Stamou, Phys.Rev. **D83**, (2011) 034030.
- [2] J.K.Ahn *et al.*, Phys.Rev. **D81**, (2010) 072004.

Measurement of Neutrino Oscillation Parameters with the Improved Neutrino Flux Prediction in the T2K Experiment

高エネルギー物理学研究室 村上 明

Abstract We have achieved the most precise measurement of the neutrino oscillation parameters via the muon neutrino disappearance in the T2K neutrino experiment. The key issue for this precise measurement is the improved neutrino flux prediction with the statistical increase of neutrino observations.

© 2013 Department of Physics, Kyoto University

T2K is a long baseline (295 km) neutrino oscillation experiment between Tokai and Kamioka [1]. Muon neutrinos are produced by using the 30 GeV proton beam in J-PARC, and are observed at both the near neutrino detector and the Super-Kamiokande detector (SK). The oscillation parameters are determined by comparing the event rate and energy spectrum of muon neutrinos observed at SK with the prediction including the neutrino oscillation effect.

For the precise measurement of oscillation parameters, we established the stable beam operation and the improved neutrino flux prediction. The achieved data taking efficiency is as high as 99.7%. The precision of the flux prediction depends on the precision of the hadron production models and uncertainties of input beam properties. We improved the hadron production models by using the external hadron production data (CERN NA61/SHINE, and so on). The uncertainties of beam properties were constrained based on the measurements by the beam monitors. As a result, the uncertainty of the muon neutrino flux at SK was successfully reduced to 12% at the energy around the oscillation maximum [2]. The uncertainty of the relation between fluxes at the near detector and SK is further smaller (about 2%). From this relation, the flux prediction for SK was refined based on the measurements at the near neutrino detector.

We observed 58 muon neutrino events during January 2010 to June 2012, and determined the oscillation parameters: $(\sin^2 \theta_{23}, \Delta m_{32}^2) = (1.00^{+0.00}_{-0.04}, 2.45 \pm 0.19 \times 10^{-3} [\text{eV}^2])$. This is the world most precise measurement of $\sin^2 \theta_{23}$. The key issues to achieve this precision are the stable beam operation and the precise flux prediction.

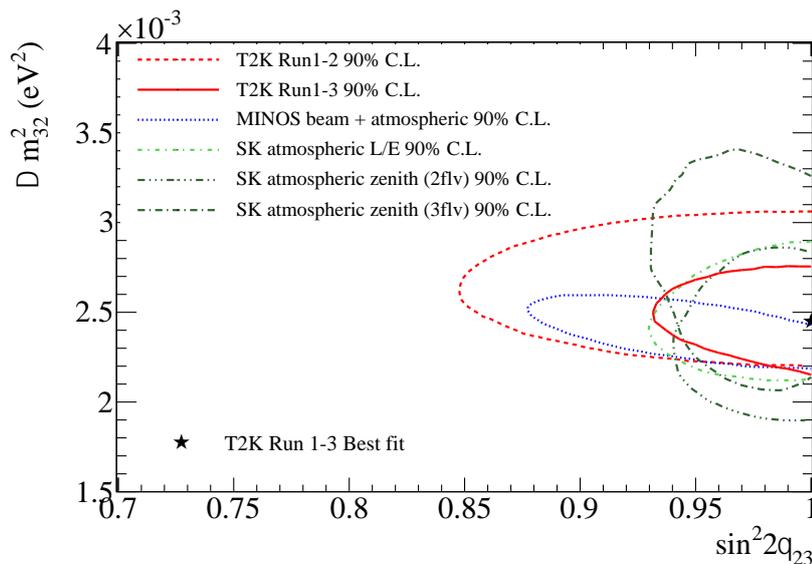


Fig.1. The 90% confidence regions allowed by several neutrino oscillation experiments. The “T2K Run1-2” is the results based on the data until March 2011 [3]. The “T2K Run1-3” is the new result shown in this presentation. MINOS is a long baseline neutrino experiment in at Fermilab. The SK results are based on the atmospheric neutrino measurements at SK.

Reference

- [1] T2K Collaboration, K. Abe et al., Nucl.Instrum.Meth. A659 (2011) 106, 1106.1238.
- [2] T2K Collaboration, K. Abe et al., Phys. Rev. D87 (2013) 012001
- [3] T2K Collaboration, K. Abe et al., Phys. Rev. D85 (2012) 031103.