

平成 2 3 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

(平成 2 4 年 1 月 2 4 日)

物 理 学 第 二 分 野

D 3 発 表 会

日 時 2012年1月24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. 気球実験に向けた省電力なガス検出器読み出しシステムの開発
岩城 智(9:00)・・・ 1
2. Black Hole Collision in Higher Dimensions
大川 博督(9:20)・・・ 2
3. Measurement of Neutrino Oscillation In the T2K Experiment
大谷 将士(9:40)・・・ 3
4. Magnetar Asteroseismology with Long-Term Gravitational Waves
檜山 和己(10:00)・・・ 4
5. Development of the Neutron Collar Counter
for the $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ search experiment at J-PARC
河崎 直樹(10:20)・・・ 5
6. Relativistic zero-mode dynamics of solitons
菊池 徹(10:40)・・・ 6
7. The merger of black hole-neutron star binaries in full general
relativity: dependence on the neutron star equation of state
久徳 浩太郎(11:00)・・・ 7

8. Gauge Fixing of Modified Cubic Open Superstring Field Theory

高力 麻衣子(11:20)・・・ 8

9. Development of Time-Domain Interferometry Method Using
Nuclear Resonant Scattering and Its Applications

齋藤 真器名(11:40)・・・ 9

----- 午 後 -----

1 0. Relativistic viscoelastic fluid mechanics and
the entropic formulation of continuum mechanics

酒谷 雄峰(13:00)・・・10

1 1. Photon Structure Functions and Heavy Parton Mass Effects

佐原 諒(13:20)・・・11

1 2. Plasma Diagnostics for Non- Standard Supernova Remnants
in the Galactic Center Region

澤田 真理(13:40)・・・12

1 3. 相対論的散逸流体力学における散逸過程の理論と
その数値計算法についての研究

高本 亮(14:00)・・・13

1 4. Self-gravity effects in the blackfold approach

田邊 健太郎(14:20)・・・14

1 5. New Aspects of Gauge Mediation

中井 雄一郎(14:40)・・・15

1 6. RHIC PHENIX 実験における、 $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ 偏極陽子陽子衝突
での単電子生成の二重スピン非対称度測定

中村 克朗(15:00)・・・16

1 7. Non-linear Cosmological Perturbation Theory

～ from δN formalism to Beyond δN formalism ～

成子 篤(15:20)・・・17

1 8. Terahertz Emission from Gas and Atomic Cluster Plasmas Induced
by Intense Femtosecond Laser Pulses

Fazel JAHANGIRI(15:40)・・・18

1 9. Nucleon-Deuteron Scattering Described by a Quark-Model
Nonlocal Gaussian Potential

福川 賢治(16:00)・・・19

2 0. Primordial magnetic field from non-inflationary cosmic
expansion in Horava-Lifshitz gravity.

前田 悟志(16:20)・・・20

2 1. Recent status of the calorimeter for the K⁰T0 experiment

増田 孝彦(16:40)・・・21

2 2. 高速格子 QCD 計算の実現へ向けた新たな格子フェルミオンの研究

三角 樹弘(17:00)・・・22

2 3. Transport coefficients near QCD critical point
by dynamic renormalization group.

南 佑樹(17:20)・・・23

2 4. Search for pentaquark Θ^+
via the pion-induced reaction at J-PARC

森津 学(17:40)・・・24

2 5. Probing Alternative Theories of Gravity
with Binary Gravitational Waves

八木 絢外(18:00)・・・25

2 6. Magnetic Lens for Pulsed White Neutron Beam Focusing

山田 雅子(18:20)・・・26

気球実験に向けた省電力な ガス検出器読み出しシステムの開発

宇宙線研究室 岩城智

Abstract For astronomical observations, we have been developing an Electron Tracking Compton Camera (ETCC) based on a micro pixel gaseous chamber (μ -PIC) and scintillation cameras. For balloon-borne experiments with ETCC, we have developed low power CMOS Front-End ASICs and a readout system with the chips for a μ -PIC, and a readout system for scintillation cameras.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

我々は、天体観測用にコンプトン散乱を利用したMeVガンマ線コンプトンカメラの開発を行っている。この検出器はコンプトン散乱体であるガス検出器(Time Projection Chamber、TPC)と吸収体であるシンチレーションカメラから構成されており、反跳電子のエネルギーと飛跡をTPCで、散乱ガンマ線の吸収位置とエネルギーをシンチレーションカメラで測定する。反跳電子の三次元飛跡情報を取得することで高いバックグラウンド除去能力と、高感度、広視野を実現している。我々は、この検出器を用いた気球実験を行っている。2006年にはプロトタイプ検出器を用いた第一回気球実験(SMILE-I)を行い、宇宙背景ガンマ線と大気ガンマ線の観測に成功した[1]。現在は、2013年にスウェーデンで計画している第二回気球実験(SMILE-II)に向け、検出器の高感度化と撮像性能の改善などに取り組んでいる。

ガンマ線検出感度を上げる方法の一つとして検出器の大型化を進めているが、それに伴い消費電力や重量、スペースの制限が気球実験での大きな問題となっている。SMILE-IIでは、 $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$ のETCCを使用する予定であり、その読み出しストリップ数は従来の3倍の1536本になる。このストリップの信号を読み出すために、これまではBipolar プロセスによるATLAS Thin Gap Chamber 用 ASD [2]を使用してきたが、より省電力化及び高集積化を図るためにTSMC 0.5mm CMOSプロセスを用いた新たなフロントエンドASIC FE2009bal を開発した。これにより1チップ当たりの読み出しチャンネル数を4chから16chにするとともに、1ch当たりの読み出し消費電力を従来の59mWから18mWまで削減することに成功した。

さらに、このチップを用いてコンパクトかつ高速な読み出しシステムを開発した。この読み出しシステムを用いてTPCをテストしたところ、必要な性能の指標であるMIPのトラックが取得できることが確認された。また、30 cm角 TPC のフロントエンド読み出しシステムの消費電力として、従来の約130Wから約40Wに削減できることが確認された。また、大型のETCCからくる $\sim 50 \text{ MBps}$ のデータを十分に読み出せることが確認できた。このようにTPCから得られるデータを捨てることなく高速で読み出すことで、電子飛跡を正確な特定でき、ETCCとしての角度分解能が向上することが期待される。

また、シンチレータの読み出しシステムとしても、従来の20分の1程度となる1PMT当たり約150mWという省電力な読み出しシステムを開発した。

これらの開発により、気球全体のシステムとして400W程度に抑えられることになり、十分に気球に搭載できる消費電力に抑えられることが確認された。

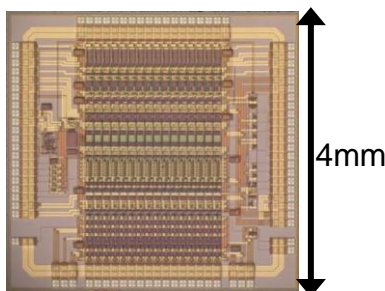


Fig. 1. Photograph of the FE2009bal chip.

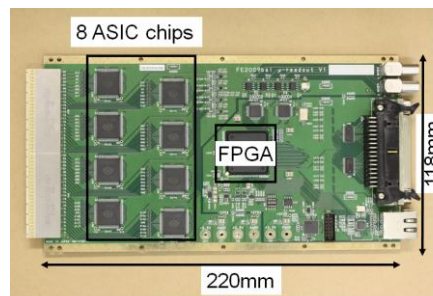


Fig. 2. Photograph of the readout board.

References

- [1] A. Takada *et al.* ApJ 733 (2011) 13.
- [2] O.Sasaki, M.Yoshida, IEEE Trans. Nucl. Sci. **46** (1999) 1871.

Black Hole Collision in Higher Dimensions

Graduate School of Science

Hirotsada Okawa

Abstract We perform simulations in higher dimensions with higher dimensional numerical relativity. Gravitational waves in head-on collisions of two black holes in four, five and six dimensions are extracted in our code. In a scattering of two black holes in five dimensions, we show that the super-Planckian domain can be formed.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

Numerical relativity in higher dimensional spacetime has been one of powerful tools to study various phenomena such as the stability of higher dimensional black holes and the verification for higher dimensional gravity [1][2]. It was pointed out that the higher-dimensional Planck energy could be around TeV scale and high energy particle collisions could produce black holes [3].

If this hypothesis is correct, a formed black hole in the accelerator would evaporate by Hawking radiation in a short time after the production. We can detect the Hawking radiation and verify the production of the black hole. The spectrum of the Hawking radiation depends on the mass and spin of the formed black hole. Then, it is essential for the investigation of higher dimensional spacetime to clarify the process of the production of the black hole in high energy particle collisions in higher dimensions.

The phases of black hole production at trans-Planckian energy are described well by general relativity in higher dimensions. Then, high-velocity black hole collisions in higher dimensions serve to study the production phases. Furthermore, it is widely believed that although quantum effects should be taken into account over the Planck scale, during high energy collisions of particles, physical processes characterized by the length scale shorter than Planck length are hidden inside black holes.

In this presentation, we show the results of black hole collisions in higher dimensions with higher dimensional numerical relativity. The energy and angular momentum are dissipated by gravitational waves. Then, it is important to extract gravitational waves in order to predict the mass and spin of formed black holes. We show the results of head-on collisions of two black holes in five dimensions and six dimensions. By extrapolation, we find that the radiated energy by high-velocity collisions in five dimensions is about 14%.

In addition, in a scattering of two black holes in five dimensions, we show that the region whose curvature radius is much shorter than the Planck length can be formed.

References

- [1] N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, and G. R. Dvali, “The hierarchy problem and new dimensions at a millimeter”, *Phys. Lett. B* **429**:263-272 (1998).
- [2] L. Randall and R. Sundrum, “A large mass hierarchy from a small extra dimension”, *Phys. Rev. Lett.* **83**,3370-3373 (1999).
- [3] S. Dimopoulos and G. L. Landsberg, “Black Holes at the LHC”, *Phys. Rev. Lett.* **87**, 161602 (2001)./ S. B. Giddings and S. D. Thomas, “High energy colliders as black hole factories: The end of short distance physics”, *Phys. Rev. D* **65**, 056010 (2002).

Measurement of Neutrino Oscillation In the T2K Experiment

高エネルギー物理学研究室 大谷 将士

Abstract T2K is a long baseline neutrino oscillation experiment. We measured the neutrino oscillation in muon disappearance mode with the first T2K physics data collected between January 2010 and March 2011, corresponding to 1.4×10^{20} protons on target. The results will be presented.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

We present a neutrino oscillation measurement in the T2K experiment. T2K is a long baseline neutrino oscillation experiment, in which the muon neutrino beam is generated at J-PARC and is detected with Super-Kamiokande (SK) which is 295 km away from J-PARC. T2K started physics data taking in January 2010. Data of 1.4×10^{20} protons on target were collected between January 2010 and March 2011. Analysis of neutrino oscillation in the muon neutrino disappearance mode ($\nu_\mu \rightarrow \nu_x$) is performed by comparing observations and the expectations at SK for both the neutrino energy spectrum and the number of muon neutrino events. For the precise prediction of the expectations, the beam direction and the event rate of the neutrino events are measured at near detectors.

The beam direction is measured to be

$$x \text{ direction} = -0.014 \pm 0.025(\text{stat.}) \pm 0.33(\text{syst.}) \text{ [mrad]}$$

$$y \text{ direction} = -0.107 \pm 0.025(\text{stat.}) \pm 0.37(\text{syst.}) \text{ [mrad]}$$

The neutrino event rate relative to the prediction (DATA/MC) is measured by the on-axis near detector and the off-axis near detector:

$$[\text{DATA/MC}]_{(\text{on-axis})} = 1.06 \pm 0.001(\text{stat.}) \pm 0.04(\text{syst.})$$

$$[\text{DATA/MC}]_{(\text{off-axis})} = 1.036 \pm 0.028(\text{stat.}) \begin{smallmatrix} +0.042 \\ -0.036 \end{smallmatrix} (\text{syst.}) \pm 0.037(\text{phys.})$$

In total, 31 muon neutrino events have been observed in SK, while the expectation without oscillation is $103.7^{+16.6}_{-16.2}$.

The best fit oscillation parameters are obtained to be

$$(\sin^2 2\theta_{23}, \Delta m_{32}^2) = (0.99, 2.6 \times 10^{-3} [\text{eV}^2/\text{c}^4]).$$

The 90% confidence interval is estimated to be

$$2.1 \times 10^{-3} < \Delta m_{32}^2 [\text{eV}^2/\text{c}^4] < 3.1 \times 10^{-3} \text{ at } \sin^2 2\theta_{23} = 1.0$$

$$0.86 < \sin^2 2\theta_{23} \text{ at } \Delta m_{32}^2 = 2.6 \times 10^{-3} [\text{eV}^2/\text{c}^4]$$

We firmly confirm the neutrino oscillation in the muon neutrino disappearance mode and precisely measure the oscillation parameters. This result is one of the most precise measurements today and is consistent with other experiments. Finally it is shown that we have a potential sensitivity of $\delta(\sin^2 2\theta_{23}) \sim 0.01$ with final goal of statistics (8.0×10^{21} protons on target).

Magnetar Asteroseismology with Long-Term Gravitational Waves

天体核研究室 檜山和己

Abstract We investigate the gravitational waves from magnetars oscillating in the giant flare phase. We show that a long-term observation using the next generation gravitational wave detectors can enable us to identify the magnetic field strength and its decay rate inside the magnetars.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

In the upcoming years, the gravitational wave (GW) astronomy will be started by the 2nd generation GW detectors, such as advanced LIGO, advanced VIRGO and LCGT, and the 3rd generation ones like ET in the 10Hz-kHz band. These GW interferometers will bring about a greater synergy among multimessenger (electromagnetic, neutrino, cosmic ray and GW) signals. One of the most important targets is the neutron star (NS) oscillations. We can infer the NS interior from eigenfrequencies of the waveform, and could open *gravitational wave asteroseismology*. Highly magnetized NSs with $\sim 10^{14-16}$ G so-called magnetars are promising candidates for the GW asteroseismology. They are observed as soft gamma-ray repeaters (SGRs) and anomalous x-ray pulsars (AXPs) in our Galaxy and the Large Magellanic Cloud, whose emission is thought to be powered by the dissipation of magnetic energy. SGRs emit repeated bursts and sometimes giant flares (GFs) with huge energy $\sim 10^{44-46}$ erg. In order to prove that the energy source is the magnetic field, not the mass accretion, the GW-scopy of the internal field is indispensable. The magnetar GFs would excite the seismic oscillations with GWs. The GFs are thought to be produced by a release of the accumulated magnetic stress in the crust or inner region. A part of the GF energy will tap the stellar oscillations, especially polar modes that vary the moment of inertia and emit GWs. At least the reduction of the magnetic stress would change the stellar deformation and begin polar oscillations around a new equilibrium. Actually, the quasiperiodic oscillations with ~ 100 Hz have been discovered in the x-ray tails of GFs (X-QPOs) and recently activated the searches of GWs from magnetar GFs. The GW energy within the X-QPO duration ~ 200 sec has been limited below $\sim 10\%$ of the electromagnetic energy. X-QPOs can be interpreted by the axial oscillations propagating to the magnetospheric emission via magnetic fields.

Here, we suggest that the GWs from magnetar GFs would last much longer than the X-QPOs if the GW frequencies are close to the X-QPO frequencies. We show that the long-term GW analyses from a day to months are necessary to detect the GW, even if the GW energy is comparable to the electromagnetic energy. The current searches of < 200 sec are not long enough; this is because the GW luminosity is proportional to (frequency)⁶. Thus, by fixing the GW energy budgets, ~ 100 Hz GWs could persist up to 10^6 times longer than \sim kHz GWs of typical fluid modes like p-modes. We propose that GWs from magnetar GFs, if any, are largely produced by the polar Alfvén oscillations, which last longer than the axial-type X-QPOs. This opens an interesting possibility to directly measure the internal magnetic field from the observed frequency since the restoring force is magnetic and the polar Alfvén modes have discrete frequencies. The long-term GW emission also makes it possible to directly measure the magnetic field decay or reconfiguration inside the NS, because the mode frequency f depends on B that evolves with time. The Taylor expanded phase of the GW,

$$\Psi(t) = \psi_0 + 2\pi \left\{ f(t - t_0) - \frac{1}{2} \dot{f}(t - t_0)^2 + \dots \right\}, \quad (1)$$

has the first frequency derivative (1FD) term and also the higher frequency derivative terms (2FD and so on) like the pulsar timing search. We show that the FD terms affect the signal to noise ratio (S/N) even if we assume the minimum magnetic field decay required to supply energy for the observed emission from magnetars.

References

- [1] K. Kashiama, and K. Ioka, Phys.Rev.D, Vol.83, No.2, p.023002, January 2011.

Development of the Neutron Collar Counter for the $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ search experiment at J-PARC

高エネルギー物理学研究室 河崎直樹

Abstract The KOTO experiment aims to discover the rare decay $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$. The branching ratio of Standard Model prediction is very small $(2.49 \pm 0.39) \times 10^{-11}$. To achieve this experimental goal, reduction of halo neutron background events is required. Therefore I developed new detector for reduction and estimation of this background. I present the current status of the construction © 2012 Department of Physics, Kyoto University

The KOTO experiment at the J-PARC is dedicated to a search for the $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay. This decay mode violates CP symmetry directly, and the amplitude is proportional to the imaginary part of a product of the Cabbibo-Kobayashi-Maskawa matrix elements in the Standard Model(SM). Since the theoretical uncertainty in the branching ratio is small(1-2%), it provides a good testing ground of the SM and beyond. The branching ratio $Br(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu})$ is predicted to be $(2.49 \pm 0.39) \times 10^{-11}$ in the SM[2]. The best limit was 2.6×10^{-8} given by the E391a experiment at KEK-PS[3].

At the KOTO experiment, we detect 2γ 's from the π^0 decay in $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ with a main calorimeter and cover whole decay volume by veto detectors to assure that there are no extra particles, namely “ 2γ & nothing” is major signal characteristic.

Because the expected number of signals is very small, reduction and understanding of backgrounds is the key issue of this experiment. Neutrons surrounding the K_L beam (halo neutrons) interact at the detector material, make $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ decays, and become source of serious backgrounds (halo neutron background).

In order to achieve the reduction and estimation of the halo neutron background, I designed the new detector, which we call Neutron Collar Counter(NCC). The NCC is made of undoped CsI crystals, which have short radiation length($X_0=1.85\text{cm}$) and long interaction length($\lambda_I=36.5$), so we can reduce neutron interactions and stop background 2γ 's inside the NCC. In addition, NCC is divided into 152 crystals to measure the shower development made by incident neutrons and gammas and distinguish halo neutron events from γ events. The rough design is shown in Fig.1.

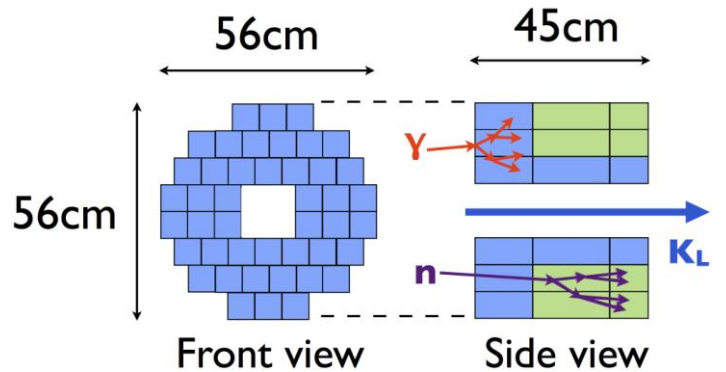


Fig.1. The rough design of CsI-divided design

To realize this division, I adopted wavelength shifting Fiber (WLSF) readout. I studied and realized the WLSF readout of a CsI crystal for the first time in the world.

So far, I estimated the requirement of NCC performance by Monte Carlo simulation, made NCC prototype, and demonstrated the enough performance of the WLSF readout. Now construction of NCC modules is on going. The results of simulation and techniques and the current status of construction will be presented.

References

- [1] L. S. Littenberg, Phys. Rev. D 39, 3322 (1989)
- [2] F. Mescia and C. Smidth, Phys. Rev. D 76, 034017 (2007)
- [3] J. K. Ahn *et al.* [E391a Collaboration], Phys. Rev. D 81, 072004 (2010)

Relativistic zero-mode dynamics of solitons

素粒子論研究室 菊池 徹

Abstract We consider zero-mode dynamics of solitons beyond non-relativistic approximation. We realize relativistic improvement on the treatment of rotational collective coordinates of Skymion, and derive deformation of Skymion due to its spinning motion, the rotational Lagrangian and various static properties with relativistic corrections.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

Although solitons have long been fundamental objects in field theories, it is hard to say that their dynamics is fully understood and formulated. Even when we restrict our attention to zero-modes of solitons, i.e. their translational motion, spinning motion etc., many of studies have been based on non-relativistic approximation. However, such an approximation is sometimes not appropriate for analysis.

An example is a soliton called Skymion, which is regarded as a model of baryons. The spins of baryons are understood as the angular momenta of spinning Skymions, and their rest masses as the sum of the rest mass of Skymions and their kinetic rotational energies. The spinning dynamics of Skymions was once analyzed in non-relativistic approximation[1], and its result has been regarded as the standard numerical estimation of Skymion. However, since the masses of baryons with different spins are not degenerate, the contribution of rotational kinetic energies to the total energies should be non-negligible. This indicates that the dynamics of Skymions must be treated relativistically, and non-relativistic approximation is not valid.

Motivated by these facts, I developed a general principle of treating zero-modes of solitons relativistically[2,3]. The zero-modes of solitons are described by collective coordinates, i.e. the center of mass coordinates and orientations in space etc. The principle is very simple: lift collective coordinates to dynamical variables in a way that the solitons satisfy their equations of motion (EOMs) whenever the collective coordinates satisfy their EOMs.

Based on this principle, I explicitly derived a solution of a spinning Skymion[2,3] with relativistic corrections. This is the first example of how solitons on (1+3)-Minkowski spacetime deform due to their own spinning motion is studied analytically. Using this solution, I calculated various static properties of the nucleon, and found that the relativistic corrections are as much as a few tens of percent.

References

- [1] G. S. Adkins, C. R. Nappi and E. Witten, Nucl. Phys. B, 552 (1983).
- [2] H. Hata and T. Kikuchi, Phys.Rev. D82 (2010) 025017,
- [3] H. Hata and T. Kikuchi, Prog.Theor.Phys. 125 (2011) 59-101,

The merger of black hole–neutron star binaries in full general relativity: dependence on the neutron star equation of state

Yukawa Institute for Theoretical Physics, Cosmology and Astrophysics
group, Koutarou Kyutoku

Abstract The merger of black hole–neutron star binaries is studied. In particular, the dependence on the neutron star equation of state is investigated systematically for the first time. It is shown that the cutoff frequency of the gravitational-wave spectrum will bring us quantitative information of the equation of state.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

We study the merger of black hole–neutron star binaries in full general relativity with a variety of equations of state modeled systematically by piecewise polytropic equations of state [1, 2]. We focus, in particular, on the dependence of the gravitational waveform at the merger stage on the EOSs. The black hole spins are chosen to be aligned or antialigned with the orbital angular momentum of the binary, and the mass ratio is chosen to be in the range of mass ratio (the BH mass divided by the NS mass) from 2 to 5. The initial condition is computed in the puncture framework, adopting an isolated horizon framework to estimate the black hole spin and assuming an irrotational velocity field for the fluid inside the neutron star. Dynamical simulations are performed in full general relativity by an adaptive-mesh refinement code, SACRA.

We find that the neutron star is tidally disrupted irrespective of the mass ratio when the black hole has a moderately large prograde spin, whereas only binaries with low mass ratios or small compactnesses of the neutron stars bring the tidal disruption when the black hole spin is zero or retrograde. For fixed values of other parameters, the tidal disruption occurs at a more distant orbit for less-compact neutron stars. Information of the tidal disruption is reflected in a clear relation between the compactness of the neutron star and an appropriately defined “cutoff frequency” in the gravitational-wave spectrum, above which the spectrum damps exponentially. We find that the tidal disruption of the neutron star and excitation of the quasinormal mode of the remnant black hole occur in a compatible manner in high mass-ratio binaries with prograde black hole spins. The correlation between the compactness and the cutoff frequency still holds for such cases, and it is suggested that the information of the realistic equation of state can be extracted from the gravitational-wave observation. The mass of the remnant disk is as large as 0.1 solar mass, which is required by central engines of short gamma-ray bursts, if the black hole spin is prograde, and the disk mass shows a similar correlation with the compactness of the neutron stars to that of the cutoff frequency. It is also suggested by extrapolation that the merger of an extremely spinning black hole and an irrotational neutron star binary does not lead to the formation of an overspinning black hole.

References

- [1] Koutarou Kyutoku, Masaru Shibata, Keisuke Taniguchi, *Phys. Rev. D* **82**, 044049 (2010); erratum-ibid *D* **84**, 049902(E) (2011)
- [2] Koutarou Kyutoku, Hirotsada Okawa, Masaru Shibata, Keisuke Taniguchi, *Phys. Rev. D* **84**, 064018 (2011)..

Gauge Fixing of Modified Cubic Open Superstring Field Theory

基礎物理学研究所 素粒子論グループ 高力麻衣子

Abstract The modified cubic open superstring field theory has two gauge invariances associated with the picture-changing operators and the BRST operator. They are fixed by restricting string fields to minimal component fields and applying the Batalin-Vilkovisky formalism, respectively. We also derive the propagator being suitable for the perturbative computation.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

弦理論の非摂動的な定式化として有力な候補の一つが、弦の場の理論である。開弦の場の理論は、様々な古典解が解析的に求められるなど、主にボソン弦の分野で近年大きく発展してきた。一方、超対称性を持つ超弦の場の理論の場合、いくつかの古典解が構成されているものの、ボソン弦ほどには研究が進んでいないのが現状である。特に、相互作用まで含めた場合におけるゲージ固定は満足のいく形では行われていない。

超弦はゴースト数の他に picture 数という量子数を持っているが、この picture 数の選び方には任意性があり、それぞれに異なる Fock 空間が対応する。通常、Neveu-Schwarz (NS) 場は (-1) -picture、Ramond (R) 場は $(-1/2)$ -picture に選ぶのが最も自然であり、我々はこれを natural picture と呼んでいる。最初に提唱された超弦の場の理論 [1] は、この natural picture に基づく弦の場を用いて定義されていた。これは cubic superstring field theory (superSFT) と呼ばれ、cubic 型のボソン弦の場の理論を、超対称性を持つよう拡張したものである。しかしながら、この理論は後に、作用のゲージ変換やボソンの 4 点振幅が発散するなどの問題を持っていることが指摘されたため、新しく提唱されたのが modified cubic superSFT [2] であり、0-picture の NS 場を用いて定義される (R 場は依然として natural picture を持つ)。Modified cubic superSFT の作用は、picture 数を変化させる演算子、picture-changing operator (PCO) を含んでいる。この演算子は非自明なカーネルを持つため、modified cubic superSFT の作用は、通常の BRST 演算子 Q_B に関するゲージ対称性に加えて、PCO のカーネルに起因するゲージ対称性を持つ。我々はこれらのゲージ対称性のゲージ固定について議論し、プロパゲータを求めた [3]。

本講演では主に NS セクターのゲージ固定について二通りの方法を説明する。一つ目は、PCO のカーネルを除いた component field を定義する方法である。この制限された部分空間内では、作用に含まれる PCO は非縮退の metric として振る舞い、カーネルに関するゲージ自由度は固定されている。さらに、この部分空間内で Batalin-Vilkovisky (BV) 形式を用い、残る Q_B に関するゲージ対称性を固定する。具体的には、理論に現れる自由度を場と反場の二つに分け、BV マスター方程式を満たす作用から反場成分を消去することにより、ゲージ固定作用を得る。我々は、BV マスター方程式を満たす作用は、もとのゲージ不変な作用において、string field をゴースト数の制限を持たないものに置き換えて得られることを示した。また、PCO のカーネルの自由度を除いた component field を場と反場の成分にそれぞれ分け、反場を消去するゲージ固定条件を課すことで、ゲージ固定を行った。しかし上記の手法ではプロパゲータを求めることはできなかった。これを可能にするため、二つ目の方法として、non-local projection operator を用いたゲージ固定を行う。この方法は、場と反場の成分を具体的に求めることやゲージ固定された場の BRST 変換の評価が難しいという欠点を持つが、 $L_0 = 0$ に極を持つ、摂動論への応用に適したプロパゲータを求めることができる。

References

- [1] E. Witten, Nucl. Phys. B **276** (1986) 291.
- [2] C. R. Preitschopf, C. B. Thorn and S. A. Yost, Nucl. Phys. B **337** (1990) 363;
I. Y. Arefeva, P. B. Medvedev and A. P. Zubarev, Nucl. Phys. B **341** (1990) 464.
- [3] M. Kohriki, T. Kugo and H. Kunitomo, Prog. Theor. Phys. **127** (2012) to appear, arXiv:1111.4912 [hep-th].

Development of Time-Domain Interferometry Method Using Nuclear Resonant Scattering and Its Applications

核放射物理学研究室 齋藤 真器名

Abstract A time-domain interferometry (TDI) method using nuclear resonant scattering of synchrotron radiation was applied to study the microscopic dynamics of glass forming liquids and soft matters. Moreover, its measuring efficiency was much improved by using α -Fe foils with multiline Mössbauer spectra as nuclear absorbers of the TDI method.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

A time-domain interferometry (TDI) method using nuclear resonant scattering of synchrotron radiation enables us to study the density fluctuations of the time scale from 1 ns to 10 μ s at the length scale from 0.1 to 6 nm in condensed matters.[1-5] In the time and length scales, there exist many important but unresolved phenomena such as the branching of the α and slow β processes, which are the key processes to understand the dynamics of supercooled liquids. In this study, the TDI method that is applicable to the study on the slow dynamics of liquids and soft matters was developed by estimating and realizing the optimum condition of the TDI method within the traditional approach.[1,2,5] By using the developed method, new important results concerning the microscopic dynamics of a glass-forming molecular liquid and ionic liquid in the supercooled liquid state were obtained and the mechanism of the branching of the α and slow β processes in a glass-forming molecular liquid was investigated by obtaining the relaxation map which is the temperature and momentum transfer dependences of characteristic relaxation times in the liquids.[1,2] Moreover, the microscopic dynamics in the typical and perfluorinated liquid crystals under the smectic A phase were studied and it was observed that perfluorinated and hydrocarbon chains of the perfluorinated liquid crystal are not so strongly segregated.[5] As for the improvement of the TDI method, new approaches were studied by two ways. One is the TDI method using two driven nuclear absorbers with single-line Mössbauer spectra and the other is the TDI method using α -Fe foils with multiline Mössbauer spectra as nuclear absorbers. As a result, much improvement of the efficiency was shown by the latter approach.[3,4]

References

- [1] M. Saito *et al.*, Appl. Phys. Express **2**, 026502 (2009).
- [2] M. Saito *et al.*, J. Phys.: Conf. Ser. **217**, 012147 (2010).
- [3] M. Saito *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **80**, 123001 (2011).
- [4] M. Saito *et al.*, to be published in Hyperfine Interact.
- [5] M. Saito *et al.*, to be published in J. Phys. Soc. Jpn.

Relativistic viscoelastic fluid mechanics and the entropic formulation of continuum mechanics

素粒子論研究室 酒谷 雄峰

Abstract An entropic formulation of relativistic continuum mechanics is developed based on Onsager's linear regression theory. As an application of this formulation, we construct a relativistic model of viscoelastic materials in this formulation, and show that this model gives a new direction in constructing causal model of viscous fluids.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

相対論的流体力学は重イオン衝突実験の解析などにおいて非常に重要な役割を果たしており、現在でも様々な模型が提案されるなど活発に研究が進められている。しかし、その標準的な定式化においては、「流体の全エントロピーを最大化させるために働く熱力学力を駆動力として熱力学変数が不可逆な時間発展をする」という非平衡熱力学的な描像は明らかではない。我々は、このような描像を明らかにするため、非平衡熱力学における Onsager の線形回帰理論に基づいて連続体力学を定式化する新たな枠組みを提案した [1]。そして、この枠組みから確かに通常の Navier-Stokes 方程式が一般共変な形で再現できることを確認した。

標準的な相対論的流体力学においては、熱力学変数の時間発展は放物型の微分方程式で記述され、短波長の波は光速を超えて伝播してしまう。このような因果律を破る振る舞いは、数値シミュレーションを行う際にも非物理的な時間発展をもたらす、実用上の面からも理論を修正する必要がある。このような因果律の問題を回避するアプローチとして、Navier-Stokes 方程式に高階微分補正を加えることで短波長モードの振る舞いを修正するものがあり、実際に因果律の問題が回復されることが分かっている。このような流体模型は因果的流体力学などと呼ばれ、様々な解析において重要な役割を果たしている。一方、流体の振る舞いに補正を加えるアプローチは、レオロジーの分野でも研究されており、流体と弾性体の性質を両方持つという粘弾性体の模型が複数構築されている。さらに近年、[2] で非相対論的粘弾性体力学における波の分散関係が調べられ、双曲型の電信方程式に似たタイプの分散関係が得られた。この研究から、粘弾性体力学の枠組みを、因果的な流体模型を構築するための新たなアプローチとして捉えることが出来るのではないかと示唆が得られた。

我々は、これらの研究に動機づけられ、[1] で提案した連続体力学の枠組みに基づいて相対論的粘弾性体力学を新たに定式化し、その模型の性質を詳しく解析した [3]。まずは、この粘弾性体模型のパラメータを様々な値に選ぶことで、標準的な流体力学や弾性体力学に加えて、Israel らにより提案された因果的流体力学の簡略版である simplified Israel-Stewart 模型や、レオロジーの分野で知られている Kelvin-Voigt 模型や Maxwell 模型など、様々な模型が再現できることを確認した。また、この模型が長時間極限では通常の流体力学に帰着することも確認した。さらに、静水周りでの摂動を考え、波の伝播を記述する微分方程式を調べた。その結果、広いパラメータ領域で、双曲型の微分方程式系が得られることが確認でき、この粘弾性体模型が因果的な流体力学として機能することが分かった。また、レオロジーの分野での研究を参考にすれば、[1] で得られた模型をさらに拡張することができ、非常に幅広い種類の連続体を普遍的に記述できる模型が得られた。

本講演では、以上で説明した研究について概要を発表する。

References

- [1] M. Fukuma and Y. Sakatani, ``Entropic formulation of relativistic continuum mechanics," Phys. Rev. E 84, 026315 (2011).
- [2] T. Azeyanagi, M. Fukuma, H. Kawai and K. Yoshida, ``Universal description of viscoelasticity with foliation preserving diffeomorphisms," to appear in the proceedings of Quantum Theory and Symmetries 6 (2010).
- [3] M. Fukuma and Y. Sakatani, ``Relativistic viscoelastic fluid mechanics," Phys. Rev. E 84, 026316 (2011).

Photon Structure Functions and Heavy Parton Mass Effects

素粒子論研究室 佐原 諒

Abstract We investigate the mass effects of heavy partons such as quarks, squarks and gluinos on the virtual photon structure functions. These effects are evaluated in the frame work of perturbative QCD and SQCD based on the DGLAP evolution equations with suitable boundary conditions.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

We would like to address the question about the heavy parton mass effects on the virtual photon structure functions in QCD and its supersymmetric version, SQCD. The virtual photon structure which can be measured in the two-photon process of e^+e^- collision is interesting because it provides a good probe to study QCD as well as SQCD dynamics in perturbation theory.

We first argue that the heavy quark mass effects can be incorporated by imposing the boundary conditions on the heavy quark distribution function in the leading order DGLAP evolution equation. In a certain kinematical limit, this method provides the same results by the operator product expansion up to logarithmic term. We derive the formulae for the Mellin moments of the parton distributions with heavy quark mass effects. We then numerically calculate parton distributions and structure functions by the inverse Mellin transformation, and discuss the property of the resummed heavy quark mass effects [1].

Next we investigate photon structure functions in supersymmetric QCD, where we have squarks and gluinos which strongly interact with each other and possess heavy masses. In order to study massive parton effects in supersymmetric QCD, we evaluate the eight structure functions of the virtual photon by taking the discontinuity of the squark massive one-loop diagrams of the photon-photon forward amplitude. The model-independent positivity constraints are derived from the Cauchy-Schwarz inequalities. It will turn out that actually there exist the two equalities hold for the squark contribution. We also show that our polarized photon structure function for the real photon satisfies the vanishing 1st moment sum rule [2].

We also investigate the supersymmetric QCD radiative effects in the virtual photon structure functions by applying the leading order DGLAP evolution equation. With the suitable boundary condition for the heavy parton distribution functions we solve the evolution equation and numerically study their behaviors. And we then discuss the possible differences between QCD and SQCD [3].

References

- [1] Y. Kitadono, R. Sahara, T. Ueda and T. Uematsu, Eur. Phys. J. **C70** (2010) 999.
- [2] Y. Kitadono, Y. Yoshida, R. Sahara and T. Uematsu, Phys. Rev. **D84** (2011) 074031.
- [3] R. Sahara, T. Uematsu and Y. Kitadono, arXiv:1111.4765 [hep-ph] (Nov.2011), Phys. Lett. B to be published.

Plasma Diagnostics for Non–Standard Supernova Remnants in the Galactic Center Region

Cosmic-ray group Makoto Sawada

Abstract This thesis is intended to explore new evidence in the thermal structure of SNR plasmas, a missing branch in SNR evolution. For this purpose, we investigate the thermal plasmas for three non–standard SNRs in the Galactic center region. © 2012 Department of Physics, Kyoto University

The standard picture of hot plasmas in supernova remnants (SNRs) are described by the shock heating and following ionization and recombination processes. This standard scenario and the observational results of SNRs predict that the plasmas have shell-like morphologies and ionization dominant states. This thesis is intended to explore new evidence in the thermal structure of SNR plasmas, a missing branch in SNR evolution. For this purpose, we investigate the thermal plasmas for three non–shell-like SNRs in the Galactic center (GC) region. One of the SNRs, G 1.2–0.0, has peculiar morphology both in the X-ray and radio bands, but the X-ray spectrum is thermal origin. Another SNR G 357.7–0.1 has jet-induced plasmas; twin thermal plasmas are found in the both ends of the spiral radio structures. The other SNR, W28 is a mixed-morphology SNR (MM SNR); the centrally peaked thermal X-rays are surrounded by non-thermal radio shells.

G 1.2–0.0 is a new X-ray source found from the vicinity the Sagittarius D (Sgr D) H II region. Unlike the H II region, the radio emission is found to have non-thermal origin. The X-ray spectra are characterized by emission lines from highly ionized atoms, and fitted with optically thin thermal plasma. The interstellar absorption is consistent with the object being in the GC distance. The thermal X-rays and non-thermal radio coincide in position with the size of ~ 10 pc, and hence this is likely to be a single source, a new SNR in the GC region. The origin and the dynamics of the SNR are not clear but at least far from those for the standard SNRs. The thermal structure is found to be either a collisional ionization equilibrium (CIE) plasma or a recombining plasma (RP).

G 357.7–0.1 is a mysterious radio source with a bright head and faint tail, both are connected by multi-spiral structures, and hence called the Tornado nebula. We discovered two diffuse X-ray sources at the head and tail of Tornado. Emission lines from highly ionized atoms are found in the spectra, which are fitted with an optically thin thermal plasma model. The X-ray morphologies, plasma temperatures, interstellar absorptions, and fluxes of these two sources are very similar to each other. The distances estimated by the X-ray absorptions are similar to that of Tornado. Thus, the X-ray sources are twin thermal plasmas associated to Tornado. We interpret the origin of the X-ray sources to be, unlike the standard SNRs, due to shock excitation of bipolar outflows from an equatorial supernova explosion of a massive star. The thermal structure is found to be either a CIE or an ionizing plasma.

W28 is a MM SNR in the GC region. The X-ray spectra exhibit emission lines from highly ionized atoms. Optically thin thermal plasma in CIE, either one- or multi-temperature model failed to reproduce the data with line-like and bump-like residuals at Si Lyman α energy and at 2.4–5.0 keV, respectively. The bumps probably correspond to radiative recombination continua from He-like Si and S. Simple recombining plasma model nicely fit the bump structures, but failed to fit low energy bands. The full-band spectra can be fitted with a multi-ionization temperature (T_z) plasma with a common electron temperature (T_e).

All of the three non-standard SNRs have different and distinct nature. Among them, only W28 exhibits a clear RP. Since the standard SNRs cannot produce RP, we further examine the RP structure of W28. W28 is found to have different T_z among elements: The values for Si and S are higher than those for Ne and Mg, and Fe. The multi- T_z are interpreted as elemental difference of ionization and recombination timescales. The spatially resolved analysis found the radial decreases both in T_z and T_e . These results are naturally explained as follows. The plasma is shock-heated to high temperature, and then T_e quickly drops so that recombining process is now going on. As one plausible scenario, we propose a rarefaction model: the plasma breaks-out from dense circum-stellar medium into a tenuous interstellar space.

相対論的散逸流体力学における散逸過程の理論 とその数値計算法についての研究

天体核研究室 高本亮

Abstract In this presentation, I will give a brief review of the relativistic hydrodynamics with dissipation from both analytical and numerical viewpoints. From the numerical point of view, I will describe the method for developing a fast and accurate numerical scheme for the relativistic dissipative hydrodynamics that can be used in astrophysical and nuclear physics. On the other hand, the derivation of more accurate basic equations still remains controversial, especially for multi-component fluid. I will summarize and discuss the current status.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

この発表では散逸過程を含む相対論的流体现象の数値的、解析的研究についてのレビューを行い、解決すべき問題点について議論をする。近年、高エネルギー宇宙物理や Quark-Gluon Plasma (QGP) に代表される核物理の研究において、高温プラズマを相対論的流体として近似する解析が精力的に行われている。プラズマを散逸のない理想流体として近似する解析は様々な現象を説明することに用いられているが、熱化・輻射過程などの観測量に直結する過程の記述のためには散逸過程を理解することが本質的であり、相対論的流体力学の中で散逸を考慮することが興味を集めている。しかし相対論的散逸流体方程式は相対論特有の問題を含んでおり、最近まで実際の問題に適用されることはなかった。

まず相対論特有の問題として最も深刻なものは、非相対論の散逸流体方程式である Navier-Stokes 方程式は方物型であるため、そのまま相対論に拡張すると、方程式は因果律を満たさない方程式になり一様な背景流体への線形摂動が非物理的に成長するモードを含むというものである。この問題は Navier-Stokes 方程式が時間と空間を等価に扱っていないことから生じる問題と一般的には認識されており、これらを等価に扱った基礎方程式が Israel と Stewart により 1979 年に提出された [1]。この方程式は後の研究から適切なパラメータを用いれば安定で因果律を守ることが証明された。この方程式は解析的な扱いが非常に困難であるため、数値的に解くことが必要である。しかし非常に短い時間スケールのモードを含むため、残念ながら近年まで実際の解析に用いられることはなかった。そこで我々は近年発展した数値手法を駆使して高速高精度の数値計算法を開発した [2]。

このように数値解析な観点からは相対論的な散逸の記述は可能になったが、基礎方程式についての理解はいまだ完全にはすすんでおらず、精力的に研究がなされている。これらのうち代表的なものは、速度の不定性と考慮される散逸項についての不定性が挙げられる。前者は不定性が現れただけであり実用上は問題ではないが、多成分流体などを考えた場合には深い洞察が必要になる。また後者は Israel と Stewart が式の安定化のために導入した 2 次の散逸項と呼ばれる項をどこまで考慮すべきかという問題で、Boltzmann 方程式などのより原理的な方程式からの導出が今も精力的に行われている [3]。一方、QGP 物理の研究者らによって繰り込み群法という数学的手法からの基礎方程式の導出がなされるなど、新たな試みも展開されている [4]。

本発表ではこれらの発展を踏まえ、相対論的散逸流体についての現在の理解と問題について議論を行う。

References

- [1] Israel & Stewart, *Annals of Physics*, **118**, 341, (1979).
- [2] Takamoto & Inutsuka, *Journal of Computational Physics*, **230**, 7002, (2011).
- [3] Takamoto & Inutsuka, *Physica A*, **389**, 4580, (2010).
- [4] Tsumura, Kunihiro & Ohnishi, *Physics Letters B.*, **646**, 134, (2007).

Self-gravity effects in the blackfold approach

京都大学理学研究科

田邊 健太朗

Abstract The blackfold approach is the perturbative construction method of the higher dimensional black hole solutions. We develop the blackfold approach to higher order perturbation solution and investigate the physical effects of the self-gravity effects of the higher dimensional black hole in the blackfold approach.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

Motivated by string theory, lots of physicists all over the world have investigated gravitational theory in higher dimensions, especially, the physics of black holes. Through many creative works, it has been realized that the physics of gravity is very different between in four and higher dimensions and the black hole can have much richer structure in higher dimensions. There are, however, still a lot of remaining issues to be resolved in higher dimensional gravity.

As one topic among such issues, we consider the black hole solutions in higher dimensions. The technique to study four and five dimensional black hole cannot be applied to higher dimensional black holes. Indeed, in higher dimensions than five, there is no solution generating technique and the discovered exact black hole solution is the Myers-Perry black hole only. Therefore we should develop new approach to construct and investigate the higher dimensional black hole solution. Emparan et. al. proposed the new method, *blackfold approach*, which constructs the higher dimensional black hole solutions perturbatively [1]. As a present status, the solution constructed by the blackfold approach is a linear perturbation solution. To include the self-gravity effects, we will consider the second order perturbations in the blackfold approach. We utilize the effective field theory method and matched asymptotic expansion method to construct the second order perturbation solution. We also discuss the application of our generalization of the blackfold approach.

References

[1] R. Emparan, T. Harmark, V. Niarchos, N. A. Obers and M. J. Rodriguez, “The Phase Structure of Higher-Dimensional Black Rings and Black Holes,” JHEP **0710**, 110 (2007)

New Aspects of Gauge Mediation

基礎物理学研究所 素粒子論グループ 中井雄一郎

Abstract If supersymmetry is realized in nature, it must be broken. In this thesis, we study theoretical aspects of gauge mediated supersymmetry breaking. We discuss model-building of gauge mediation. We also address issues of the electroweak symmetry breaking in gauge mediation.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

超対称性は、現在我々が実験で到達できるエネルギースケールでは破れていなければならない。しかし、フレーバーを変える中性カレント (Flavor Changing Neutral Current, 以下 FCNC) などの観測から最小超対称標準模型 (Minimal Supersymmetric Standard Model, 以下 MSSM) における超対称性の破れ方には厳しい制限が課される。これに対して、MSSM において超対称性が自発的に破れる模型を構築することがまず考えられるが、軽い超対称パートナーの存在などの現象論的な困難が生じる。そこで MSSM セクターとは別の、超対称性が破れる隠れたセクターを導入し、その破れの効果が標準模型の相互作用で MSSM セクターに伝わる模型が考えられた。これを超対称性の破れのゲージ媒介模型と呼ぶ。ゲージ媒介模型の大きな利点の 1 つは、標準模型のゲージ相互作用がフレーバーに依らないため、新たな FCNC を生じないことである。

本論文では、まず、ゲージ媒介模型の一般的な枠組み (Meade, Seiberg and Shih, 2009) を review する。これは、ゲージ媒介模型の一般的な性質、予言を把握するのに役立つ。例えば、標準模型の粒子の超対称パートナーであるスカラー粒子の質量の間に和則が存在することがわかる。また、超空間への解析接続を用いた、超対称性を破る質量パラメータの計算法についても review する。この方法は、通常の loop 計算よりも簡単に結果を得ることができる点で優れている。

次に、本論文の主題の一つとして、隠れたセクターの模型構築について論じる。すでに知られているゲージ媒介模型は大きく次の 3 つのタイプに分類することができる。

- (I) minimal 型 (messenger 粒子は隠れたセクターのゲージダイナミクスの下で singlet)
- (II) direct 型 (messenger 粒子が超対称性の破れのダイナミクスに関与する)
- (III) semi-direct 型 (messenger 粒子は超対称性の破れのダイナミクスに関与しない)

これらは、超対称性の破れを伝える messenger 粒子の、超対称性を破るセクターとの結合の仕方によって分けられている。この中でも、(II), (III) の模型はシンプルで魅力的であるが、しばしば、ゲージ場の超対称パートナーであるゲージノの質量がスカラー質量に比べて軽くなるという問題が起こることが知られている。(II) の模型では、最近、一定の仮定の下で、この問題が超対称性を破る真空のグローバルな構造と関係づいていることが指摘された (Komargodski and Shih, 2009)。本論文では、さらに一般的な状況の下でのゲージノ質量と真空の構造の関係について論じた (Nakai and Ookouchi, 2011)。とくに、ケーラーポテンシャルがノンカノニカルな場合に、真空のモジュライ空間にタキオン方向が存在しないときでも、大きなゲージノ質量が得られることを示した。これは、ケーラーポテンシャルがカノニカルな場合では許されない。一方、(III) の模型での小さなゲージノ質量の問題は、gaugino screening と呼ばれ、以前から知られている (Arkani-Hamed, Giudice, Luty and Rattazzi, 1998)。本論文では、gaugino screening の問題について review するとともに、messenger セクターを強結合にとることで、この問題が回避できることを示す (Ibe, Izawa and Nakai, 2009)。この模型では、ゲージノ質量は非摂動効果によって生成される。

最後に、本論文のもう一つの主題として、ゲージ媒介模型の枠組みにおける電弱対称性の破れについて考察する。MSSM には、小さな階層性問題、 μ 問題と呼ばれる問題が存在することが知られている。本論文では、上で述べた一般的なゲージ媒介模型のパラメータ空間において fine-tuning が緩和される領域を調べた (Kobayashi, Nakai and Takahashi, 2010)。ここで得られた望ましい領域は、 μ 問題の解決にも役立つ。

RHIC PHENIX 実験における、 $\sqrt{s}=200\text{GeV}$ 偏極陽子陽子衝突での単電子生成の二重スピン非対称度測定

原子核ハドロン研究室 中村克朗

Abstract Double helicity asymmetry of the single electron production is an ideal probe to measure the gluon polarization in a proton. The measurement of the single electron is performed with a new detector HBD which rejects its backgrounds effectively. With the improved S/N ratio, the helicity asymmetry is confirmed less than 1.0% in a momentum region of $p_T < 1.5\text{GeV}/c$.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

陽子中のグルーオン偏極度を理解することは核子のスピン構造を研究するうえで重要な課題である。現在グルーオン偏極度を大きく決定しているのは米国ブルックヘブン国立研究所 RHIC 加速器での偏極陽子陽子衝突実験による中性 π 中間子やジェットの生成断面積の二重スピン非対称度の測定結果[1],[2]である。この結果により偏極度が大きく正の値であるということは棄却されたが、未だに十分な精度で決定されていないというのが現状である。特に中性 π 中間子やジェットの生成過程が複雑であるため測定結果にはこの理論的不定性を生じてしまう。また陽子陽子衝突での inclusive 測定であるため、グルーオン偏極度の導出にはグルーオン偏極度の分布形を仮定する必要がある。これらの観点から、グルーオン偏極度をより詳細に議論するためは、さらなる独立なチャンネルによるアプローチが必要不可欠となる。

陽子陽子衝突における重クォーク生成では素過程としてグルーオン-グルーオン相互作用の寄与が優勢となる。そのため、グルーオン偏極度が小さい場合を除き、重クォーク生成のスピン非対称度からグルーオン偏極度を高い感度で調べることが可能となる[3]。RHIC 加速器で行われている PHENIX 実験において重クォークはその semi-leptonic 崩壊により放出される電子(単電子)を検出することにより測定される。そこで発表者は PHENIX 実験での単電子生成断面積の二重スピン非対称性度の研究を行っている。この単電子の測定で大きなバックグラウンドとなるのが、中性中間子の Dalitz 崩壊や、光子の物質中での変換により生じる電子対である。これらのバックグラウンドを効果的に取り除くのが Hadron Blind Detector (HBD)[4]である。HBD は電子通過により発生するチェレンコフ光を利用した検出器であり、発生した光子の数により単電子と電子対とを区別することができる。発表者は HBD を用いることにより、単電子の S/N 比を向上させるとともに、バックグラウンドの量を算出することに成功した。発表者は単電子生成断面積 (Fig.1) を導出しこれまでの結果と比較することでこの手法の正当性を実証し、この手法を用いて単電子生成の二重スピン非対称度 (Fig.2) を測定した。この結果から、横運動量 $1.5\text{GeV}/c$ 以下で非対称度がほぼ一定という理論予想に基づき、非対称度がこの領域において 1.0%以下であることを確認した。

References

- [1] A. Adare *et al.* (PHENIX Collaboration) Phys. Rev. Lett. 103, (2009) 012003 .
- [2] B. I. Abelev *et al.* (STAR Collaboration) Phys. Rev. Lett. 100, (2008) 232003 .
- [3] I. Bojak arXiv:hep-ph/0005120 (2000), I. Bojak Phys. Rev. D 67 (2003) 034010 .
- [4] Q. Anderson *et al.* arXiv:1103.4277 (2011).

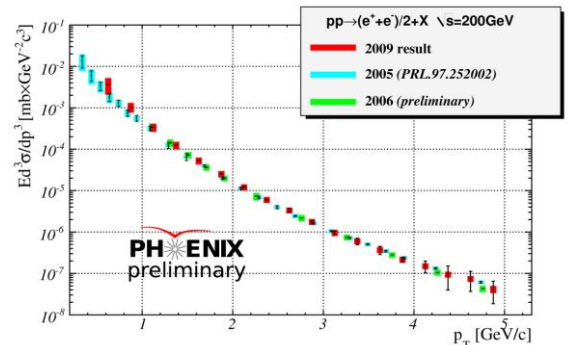


Fig.1. The cross section of the single electron production in $|\eta| < 0.35$. The 2009 data are the results of this analysis and the other 2005 and 2006 data are from a different analysis method.

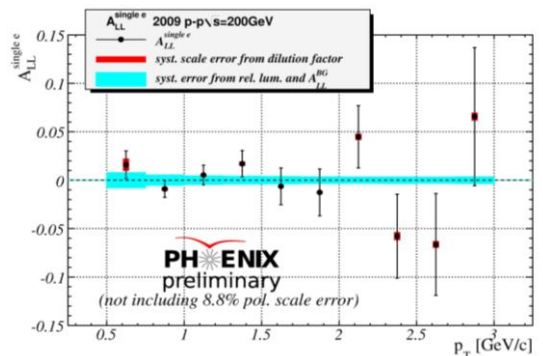


Fig.2. The double helicity asymmetry of the single electron production.

Non-linear Cosmological Perturbation Theory ∼ from δN formalism to Beyond δN formalism ∼

Yukawa Institute for Theoretical Physics Atsushi Naruko

Abstract We explicitly show that the curvature perturbation on uniform scalar field slices is conserved for a universe dominated by a single scalar field provided that the field is in an attractor regime, for a very general class of scalar-field theories.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

Thanks to current high precision measurements of the Cosmic Microwave Background (CMB), the nature of temperature anisotropies is revealed that its power spectrum with the very tiny amplitude ($\sim 10^{-5}$) is nearly scale invariant, and its statistics is almost Gaussian [1]. The existence of such tiny temperature anisotropies is naturally explained by inflation, which is a period of accelerated expansion in the very early universe and is driven by a scalar field called “inflaton”. Since temperature fluctuations in CMB are seeded by the primordial curvature perturbations through the so-called “Sachs-Wolfe” effect, we can test the inflation paradigm by observing CMB. Especially, deviations of the statistics of CMB from the Gaussian statistics, non-Gaussianities, are attracting much attention recently. If perturbations obey the Gaussian statistics, then the three-point correlation function or its Fourier transform, bispectrum completely vanishes. However, if there is a deviation from the Gaussian statistics, the three-point correlation function or bispectrum takes a non-zero value. Although we have hundreds or thousands of inflation models consistent with current CMB observations, there is a possibility we can significantly constrain models because the deviation from the Gaussian statistics (non-Gaussianity) is generated by the non-linearity of the dynamics of scalar field or gravity.

In this talk, after reviewing the linear cosmological perturbation theory based on Einstein gravity, we see first the conservation of curvature perturbations on comoving slices, or strictly speaking on uniform scalar field slices on large scales in linear theory. Then we see that the same conservation for the curvature perturbation on uniform energy density slices holds to full nonlinear order in the case of a perfect fluid provided the pressure is only a function of the energy density (i.e. if the perturbation is purely adiabatic) [2]. This conservation law is applicable to any gravity theory because it is shown only by using the energy momentum conservation law. This proof for a perfect fluid is also applicable to a single scalar field model as far as its energy momentum tensor takes the perfect fluid form. Recently, a new class of scalar field theories has been proposed where the energy momentum tensor is not in the form of a perfect fluid, such as Galileon theories [3]. Focusing on the single scalar field case, we extend the proof of the conservation and show the curvature perturbation on comoving slices, strictly speaking on uniform scalar field slices is conserved to full nonlinear order for a very general class of scalar field theories by using the scalar field equation [4]. The condition for it is whether the field is in an attractor regime or not. We also show that if the scalar field equation contains a second time derivative of the metric, as in the case of the Galileon theory, one has to invoke the gravitational field equations to show the conservation.

References

- [1] WMAP Collaboration (E. Komatsu et al.), APJ. Suppl. 192: 18 (2011).
- [2] David H. Lyth, Karim A. Malik and Misao Sasaki, JCAP. 0505: 004 (2005).
- [3] Tsutomu Kobayashi, Masahide Yamaguchi and Jun’ichi Yokoyama, PRL. 105: 231302 (2010).
- [4] Atsushi Naruko and Misao Sasaki, CQG. 28: 072001 (2011). LollI9ooooooooob

Terahertz Emission from Gas and Atomic Cluster Plasmas Induced by Intense Femtosecond Laser Pulses

Laser-matter interaction science

Fazel JAHANGIRI

Abstract Terahertz radiation from air and argon cluster plasmas produced by using intense femtosecond laser pulses has been studied. The properties of Terahertz waves, the power spectrum, polarization, angular distribution, and the laser energy dependence, have been experimentally investigated and appropriate physical mechanisms have been proposed to explain the experimental observations.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

Terahertz (THz) waves radiated from air and argon cluster plasmas produced by intense femtosecond laser pulses in the energy range of <70 mJ have been studied. To understand the mechanism of THz generation, the properties of THz waves (the polarization, angular distribution, power spectrum, backing pressure and the laser energy dependences of the power) have been investigated. THz radiation with an elliptical polarization, a strong directivity in forward, and square laser-energy dependence of the power has been observed from air plasma produced by either circularly [1] or linearly polarized [2] laser pulses. From argon cluster plasma, radially polarized THz radiation with a conical distribution in forward and backward directions (Fig. 1), and square laser-energy and backing pressure dependences of the power has been observed [3].

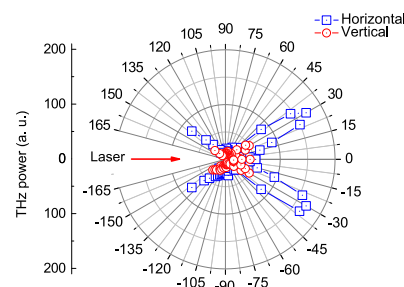


Fig. 1 Angular distribution of THz radiation from argon cluster plasma.

The properties of THz waves observed from air plasma and argon clusters cannot be explained by the previously proposed mechanisms. Parametric decay of laser light to THz waves in the presence of spontaneous axial magnetic field and quadrupole radiation induced by ponderomotive force have been proposed as new mechanisms to explain the properties of THz waves emitted from air plasma and argon clusters, respectively. The observed results are fairly consistent with the properties expected by these mechanisms.

THz pulses with a maximum total energy of ~ 600 nJ have been observed from argon clusters at laser energy of 70 mJ and backing pressure of 7 MPa. The obtained THz pulse energy is three orders of magnitude higher than that from air and argon gas plasmas (Fig. 2). It is concluded that atomic cluster plasma produced by intense femtosecond laser pulses can be as a candidate source for intense THz radiation.

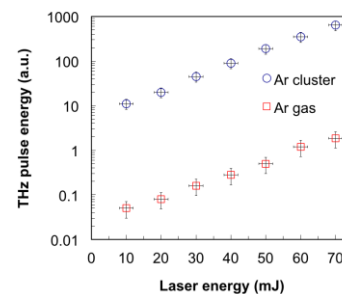


Fig. 2 Energy dependence of THz radiation from gas and cluster plasmas.

References

- [1] F. Jahangiri, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **99**, 161505 (2011)
- [2] F. Jahangiri, *et al.*, to be published in Appl. Phys. Express (2012)
- [3] F. Jahangiri, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **99**, 261503 (2011)

Nucleon-Deuteron Scattering Described by a Quark-Model Nonlocal Gaussian Potential

原子核理論研究室 福川賢治

Abstract We have made a nonlocal Gaussian potential from the quark-model baryon-baryon interaction and applied it to the nucleon-deuteron elastic and breakup scattering. We have succeeded in reproducing almost all the scattering observables without introducing three-body force.
© 2012, Department of Physics, Kyoto University

少数核子系は量子力学的に厳密な解法を通じて、所謂現実的核力の理解と直接結びつく。核子多体系では、2核子間力に加え、3核子間力が重要であると考えられている。すなわち、3核子間力は軽い核の基底状態及び低励起状態のエネルギーを再現するのに重要であることが知られている。核子-重陽子散乱系においても、エネルギー100 MeV 以上の中間エネルギー領域において、3体力効果の研究が盛んに行われている。しかし、従来から知られている、低エネルギー領域における20–30%程度の核子偏極分解能の不一致 (A_y puzzle) や、space star と呼ばれる配位における分解反応過程の微分散乱断面積の異常 (space star anomaly) 等の問題については、3体力やクーロン力を導入しても実験を十分再現していない。

これらの問題を解決するために、我々は3体力のほかに重要であると考えられる2体核力の off-shell 性に着目し、ナイーブな核子の3体クォーク構造に基づく、クォーク模型バリオン間相互作用を用いて、3核子散乱系の検討を試みた。クォーク模型バリオン間相互作用では、2つの3クォーククラスターから、クラスター模型でよく用いられている共鳴群法を用いて相互作用を構築する。クォーク模型では近距離斥力は Fermi-Breit 相互作用の非局所積分交換核で記述されている。その記述は中間子交換模型における現象論的斥力芯による記述とは大きく異なる。その効果は既に3重水素系で見ることができる。すなわち、標準的中間子交換模型に基づく2核子間相互作用を用いた計算では束縛エネルギーは0.5–1 MeV 不足しているが、クォーク模型バリオン間相互作用 fss2 による計算では約0.35 MeV の不足にとどまることが知られている [1]。従って、これらの off-shell 効果が3核子散乱系においても表れるかどうか調べることは自然かつ興味深いことである。

我々は、3体散乱系に対する Faddeev formalism である Alt-Grassberger-Sandhas (AGS) 方程式を、特異点を考慮して解く枠組みを構築した[2]。その上で fss2 を3体力を導入せずに核子-重陽子弾性散乱系に適用し、eigenphase shift、中性子-重陽子 S 波散乱長、核子あたり 65 MeV 領域までの弾性散乱観測量及び分解反応過程の微分散乱断面積について計算を行った。クーロン力については参考文献[3] で用いた sharp cutoff Coulomb force に対する Vincent-Phatak の方法を screened Coulomb force に拡張して用いた。分解過程反応の微分散乱断面積については space star anomaly を含め、ほぼ中間子交換ポテンシャルと同様の結果を得たが[4]、弾性散乱系については中間子交換模型に基づく計算とは異なる以下の結果を得た。

1. 2重項 S 波の eigenphase shift が中間子交換模型 AV18 による計算よりも十分引力的であり、3体力を導入した計算と非常に近いことを確かめた。また、2重項 S 波散乱長に対してもほぼ実験値を再現する値を出している [5]。この結果は、3重水素の束縛エネルギーに対する結果と統一的に理解できる。原因は、2重項 S 波チャンネルにおいて重陽子が壊れやすく、核子間距離が近づくため、中間子交換ポテンシャルと fss2 の近距離斥力の記述の違いが表れているためと考えられる。また、低エネルギー領域において、弾性散乱微分散乱断面積の最小値を非常によく再現する。
2. A_y puzzle は、AV18 による計算では20–30%のずれであったが、fss2 では15–20%のずれに改善した。

References

- [1] Y. Fujiwara, Y. Suzuki, M. Kohno and K. Miyagawa, Phys. Rev. **C77**, 072001 (2008).
- [2] Y. Fujiwara and K. Fukukawa, Prog. Theor. Phys. **124**, 433 (2010).
- [3] K. Fukukawa and Y. Fujiwara, Prog. Theor. Phys. **125**, 729 (2011).
- [4] Y. Fujiwara and K. Fukukawa, Prog. Theor. Phys. **125**, 979 (2011).
- [5] K. Fukukawa and Y. Fujiwara, Prog. Theor. Phys. **125**, 957 (2011).

Primordial magnetic field from non-inflationary cosmic expansion in Horava-Lifshitz gravity.

天体核研究室 前田 悟志

Abstract We present a new generation mechanism of large-scale magnetic fields in non-inflationary cosmic expansion, based on Horava-Lifshitz theory. We show that the amplitude of generated magnetic fields is large enough as a seed for the dynamo mechanism on some parameters.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

現在、銀河には 10^{-6} Gauss 程度の磁場が存在することが知られている。このような磁場の起源は未だ明確になっておらず、宇宙物理学における重要な問題の一つとなっている[1]。このような大スケールの磁場が作られるシナリオとして次のようなものが提案されている。それは、宇宙初期に非常に弱い磁場が生成され、銀河形成後のダイナモ機構によって現在の値まで増幅されるというものである。この時、現在の値まで増幅可能な磁場の値は、宇宙の再結合時期($z \sim 10^3$)に $10^{-20} \sim 10^{-30}$ Gauss 程度と見積もられていて[2]、宇宙初期の原始磁場の生成機構については様々なモデルが提案されている。しかし、星などの天体物理学的な生成機構では大スケールの磁場を作るのは難しい。そこで、宇宙論的な生成機構が必要となる。今回、我々は最近提唱された Horava-Lifshitz 理論を電磁場について考慮すると、宇宙極初期にインフレーションを必要とせずに磁場が生成される可能性があることを示す。

Horava-Lifshitz 理論とは、時間と空間に対して非等方なスケール変換($t \rightarrow b^z t$, $x \rightarrow bx$)を導入することによって、power-counting の意味で重力理論を繰り込み可能にしたものである[3]。本来電磁場は非等方なスケール変換を導入しなくても繰り込み可能である。しかし、アインシュタイン方程式によって重力と物質が関係づけられているので、物質に対しても同様の変換が行われると考えられる。

Horava-Lifshitz 理論に基づいて高エネルギー領域で電磁場の高階微分項を標準的な電磁場の作用に加えると、分散関係が通常の場合と異なり、インフレーションを用いなくても Sound Horizon が Hubble Horizon の外側に出ることが可能となる[4]。その結果、宇宙極初期にインフレーション的な宇宙膨張が無くても大スケールの磁場が生成されるのである。我々は、どのような磁場が実際に生成されるかを調べ、特別な場合として臨界指数 $z=3$ の場合に、ダイナモ機構によって現在の銀河磁場まで増幅可能な大きさを持つ磁場が生成されることを示した[5]。

References

- [1] L.M.Widrow, "Origin of galactic and extragalactic magnetic fields," Rev. Mod. Phys. **74**, 775 (2002).
- [2] A.-C.Davis, M.Lilley and O.Tornkvist, "Relaxing the bounds on primordial magnetic seed fields," Phys. Rev. D **60**, 021301 (1999).
- [3] P.Horava, "Quantum Gravity at a Lifshitz Point," Phys. Rev. D **79**, 084008 (2009).
- [4] S.Mukohyama, "Scale-invariant cosmological perturbations from Horava-Lifshitz gravity without inflation," JCAP **0906**, 001 (2009).
- [5] S.Maeda, S.Mukohyama and T.Shiromizu, "Primordial magnetic field from non-inflationary cosmic expansion in Horava-Lifshitz gravity," Phys.Rev.D **80**, 123538 (2009).

Recent status of the calorimeter for the K⁰TO experiment

高エネルギー物理学研究室 増田孝彦

Abstract The K⁰TO experiment aims to discover the rare decay $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$. The construction of the undoped CsI calorimeter started which is the main detector of this experiment. The preparation status of the experiment will be presented.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

The K⁰TO experiment aims to discover the rare decay $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$. The branching ratio of this decay is proportional to η^2 in the Standard Model (SM), where η is one of the Wolfenstein parameters representing the magnitude of the CP violation. Its branching ratio is predicted to be $2.43(39) \times 10^{-11}$ [1]. Thus precise measurements can either confirm the SM or reveal a sign of new physics beyond the SM. The current upper limit on the branching ratio is 2.6×10^{-8} [2], as given by the KEK-E391a experiment.

The main detector of the K⁰TO experiment is an undoped CsI calorimeter. It will measure the positions and energies of the 2 gammas produced from the π^0 in $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay. Other detectors guarantee that there is no other particle. Using these information, we will detect the decay of $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ (Fig. 1).

The CsI calorimeter consists of 2716 undoped CsI crystals, PMTs, preamplifiers and high voltage power supplies. We had started the CsI calorimeter construction from May 2010. We also carried out the beam test from October 2010 to November 2010, where we operated about half of the calorimeter in a month, and also we checked the data quality and the calorimeter status. After the Great East Japan Earthquake, we continued construction and then we succeeded in operating all channel of the calorimeter in August 2011. In September, we held the vacuum test of the calorimeter.

In this talk, the status of the CsI calorimeter construction including the beam test and vacuum test will be presented.

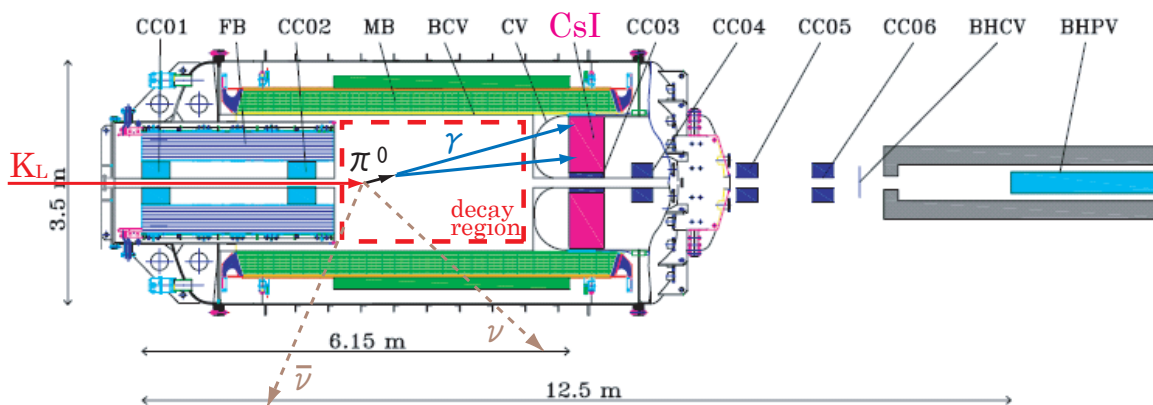


Fig. 1. The schematic view of the full K⁰TO detectors.

References

- [1] J. Brod, M. Gorbahn, and E. Stamou, Phys. Rev. D **83** (2011) 034030.
- [2] J. K. Ahn et. al. (E391a Collaboration), Phys. Rev. D **81** (2010) 072004.

高速格子 QCD 計算の実現へ向けた 新たな格子フェルミオンの研究

基礎物理学研究所素粒子論グループ 三角樹弘

Abstract I study new types of lattice fermions, which enable us to perform lattice simulations more efficiently. I show that we can construct new lattice fermions by using generalized Wilson terms. I also show applicability of these fermions to lattice QCD simulations by studying parity phase structure.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

本博士課程においては、格子数値計算の大幅な高速化を可能にする新たな格子フェルミオンの定式化とその応用についての研究を行った。格子場の理論を用いた数値計算手法は、ハドロン物理の研究のみならずフレーバー物理に現れるハドロン行列要素の計算や高温高密度系の物理の研究に至るまで現代理論物理学に欠かせないツールとなっている。しかし、格子フェルミオンのダブリング問題を回避するためには大きな数値計算コストが必要になり、そのため格子数値計算の高速化が妨げられている。ダブリング問題とは、カイラル対称性、局所性などの性質を持つフェルミオンを格子上に構成しようとするとき余計な自由度(ダブラー)が必ず出現してしまうことを指す[1]。これまでダブラーを取り除くもしくは減らすための処方としていくつかの方法が提案されており、代表的なものとしてカイラル対称性を顕わに破ることでダブラーを排除する Wilson fermion [2] と 1 成分フェルミオンを格子点上に定義することで余分な自由度の数を減少させる staggered fermion [3] が挙げられる。前者の利点はダブラーを完全に排除出来る上に、カイラル対称性に対応する Ginsparg-Wilson 対称性を持つ格子フェルミオン (overlap fermion) をそこから構成出来る点である。しかし、これらの定式化は実際の数値計算の際に大きな計算コストを必要とすることが知られている。一方 staggered fermion は数値計算に大変適した格子フェルミオンであるが、4 つのフェルミオン自由度を含むため格子 QCD には直接応用出来ないという難点がある。

私はこれらの定式化を融合した格子フェルミオンである staggered-Wilson fermion と staggered-overlap fermion [4] に注目し、その構成方法と数値計算への応用の可能性について研究を行った。これらの格子フェルミオンはダブラーを完全に排除し同時に数値計算への大きな適性を持つという意味で理想的な格子フェルミオンになる可能性を持つ。私はまずは flavored-mass term という Wilson term を一般化したものを staggered fermion に導入することでこれらの格子フェルミオンが一般に構成出来ることを確認した [5]。同時にこのような項を naive fermion に導入した場合にも、従来のものとは異なる新規の Wilson fermion や overlap fermion を構成出来ることを示した。これらの新しい格子フェルミオンの理論的性質を調べるために、ディラック演算子の指数が正しくゲージ配位の位相を反映することすなわち指数定理が成り立つことを数値的に示した [5]。次にこのような新規の格子フェルミオンの格子 QCD への応用の可能性を示すため、Gross-Neveu model と強結合格子 QCD を用いてパリティ対称性とフレーバー対称性に関する相構造の存在を示し、その二次相転移線においてカイラル極限が定義出来ることを示した [6]。この研究によりこれらのフェルミオンの数値計算への応用の準備が整ったことになり、格子 QCD と関連分野の発展に大きく貢献すると考えられる。

References

- [1] H. B. Nielsen and M. Ninomiya, Nucl. Phys. B **185**, 20 (1981).
- [2] K. G. Wilson, “Quarks and Strings on a Lattice”, MIT Press, Cambridge, (1975).
- [3] L. Susskind, Phys. Rev. D **16**, 3031 (1977).
- [4] D. H. Adams, Phys. Rev. Lett. **104**, 141602 (2010).
- [5] M. Creutz, T. Kimura and T. Misumi, JHEP **1012**, 041 (2010).
- [6] M. Creutz, T. Kimura and T. Misumi, Phys. Rev. D **83**, 094506 (2011).

Transport coefficients near QCD critical point by dynamic renormalization group.

Nuclear theory group Yuki Minami

Abstract We study transport coefficients near QCD critical point by dynamic RG. For the RG, we construct the nonlinear Langevin equation as a basic equation for the critical dynamics, based on a description as a relativistic critical fluid. Consequently, we show that the bulk viscosity and the thermal conductivity strongly diverge.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

QCD 相図には閉じ込め相と非閉じ込め相を隔てる一次相転移線の端点として臨界点の存在がさまざまな有効模型により予想されている。しかしながら、実験的には、衝突エネルギー走査計画による実証の試みが始まったばかりであり、その存在はまだ確かめられていない。そのため実験的に検証可能な QCD 臨界点のシグナルとなる様な臨界現象の探索が精力的に行われている。静的な臨界現象については様々な研究がなされ[1]、近年では動的な臨界現象に興味に移りつつある。

QCD 臨界点で期待される動的臨界現象のひとつとして Karsch 等[2]によって指摘された体積粘性率の発散が挙げられる。しかし、文献[2]で用いられている ansatz には疑問が出されており[3]、また、発散せずに有限に留まるという指摘もあるなど[4]、その振る舞いには議論の余地が存在する。

輸送係数の二次相転移点での振舞いは通常、臨界ダイナミクスの運動学的方程式である非線形ランジュバン方程式の繰り込みによって解析される[5, 6, 7]。そこで、我々は QCD 臨界点近傍でのダイナミクスを記述する非線形ランジュバン方程式を相対論的散逸流体方程式であるランダウ方程式を拡張することによって導出する。また動的繰り込み群を得られた方程式に適用し、QCD 臨界点での輸送係数の特異性を解析する。

結果として、通常、重イオン衝突の解析では無視される体積粘性率および熱伝導率が QCD 臨界点では強い発散を示すことを明らかにする。

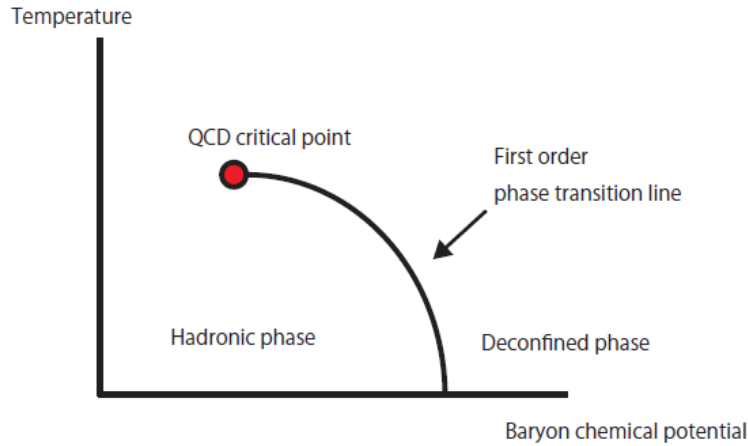


Figure 1: a schematic phase diagram of QCD.

References

- [1] M. A. Stephanov, K. Rajagopal, and E.V. Shuryak, Phys.Rev. D **60**, 114028 (1999).
- [2] F. Karsch, D. Kharzeev and K. Tuchin, Phys. Lett. B**663** (2008), 217.
- [3] G. D. Moore and O. Saremi, J. High Energy Phys. **09** (2008), 015.
- [4] C. Sasaki and K. Redlich, Nucl. Phys. A**832** (2010), 62.
- [5] K. Kawasaki, Ann. Phys. (N.Y.) **61** (1970), 1.
- [6] E. D. Siggia, B. I. Halperin and P. C. Hohenberg, Phys. Rev.B**13** (1976), 2110.
- [7] A. Onuki, Phys. Rev.E **55** (1997), 403.

Search for pentaquark Θ^+ via the pion-induced reaction at J-PARC

原子核・ハドロン物理学研究室 森津学

Abstract The pentaquark Θ^+ , first reported by the SPring-8/LEPS group, is an exotic hadron which has at least five-quark components with $S = +1$. We are searching for the Θ^+ via the $\pi^- p \rightarrow K^- X$ reaction near the production threshold at the J-PARC K1.8 beam line.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

ペンタクォーク Θ^+ はストレンジネス量子数(S)=+1をもつエキゾチックハドロンであり、5クォーク状態(uudds)から成ると考えられている。 Θ^+ は2003年にSPring-8/LEPSグループにより初めて報告されて以来[1]、多くの実験グループにより様々な手法を用いて探索されてきた。肯定的な結果を示すグループがある一方、その存在に対して否定的な結果を提示するグループもあり、 Θ^+ はその存在自体が未だ議論の余地がある。 Θ^+ は1.52-1.56 GeV/ c^2 の質量領域に幅の狭いピークとして観測されておりそのスピン・パリティは決定されていない。特にこの狭い崩壊幅は強い相互作用で $K+N$ に崩壊するバリオン共鳴としては極めて特殊である。 Θ^+ の生成には多様な反応が考えられるが比較的断面積が大きく生成機構の理論的不定性が少ないハドロンビームを用いた反応は有望である。KEK-PS E522 実験においては1.92 GeV/ c の π^- ビームと CH_2 標的を用いた $\pi^- p \rightarrow K^- X$ 反応において1.53 GeV/ c^2 に2.5-2.7 σ のバンプ構造が観測されており断面積の上限値が与えられている[2]。E522 実験では測定の感度が十分ではなかったため、 Θ^+ の確証を得るためにはより高い感度の実験が必須である。我々は Θ^+ の存否を明らかにすべくJ-PARCにおいて同じ反応を用いた高統計高分解能実験(J-PARC E19)をおこなっている[3]。E19 実験ではJ-PARC K1.8 ビームラインに高分解能磁気スペクトロメータ SKS を設置して前実験の約1/10の質量分解能2 MeV(FWHM)以下で分光実験をおこなう。また実験標的として液体水素を用いることで他の元素からの寄与がない前実験よりもきれいなスペクトルを得ることができる。

E19 実験はJ-PARC K1.8 ビームラインにおける最初の実験であり、まず全ての実験セットアップの構築から始めた (Fig. 1)。スペクトロメータ SKS の移設、検出器の製作と設置、データ収集回路の構築を経て2010年秋に初の物理データを取得した。7.8 $\times 10^{10}$ の π^- を照射し、1.4 MeV(FWHM)の質量分解能を達成した。これは前実験から10倍以上の感度の向上である。実験の結果として1.92 GeV/ c の入射運動量でのミッシングマススペクトルに有意なピークは観測されず、1.51-1.55 GeV/ c^2 の質量領域において0.3 $\mu\text{b/sr}$ 以下という断面積の上限値を得ている。 Θ^+ の生成過程としてs-チャンネルのみを考えると全断面積から Θ^+ の崩壊幅に対応づけることができ、理論モデルにも依るが、1 MeV以下の幅に相当する。これはこの質量領域のバリオン共鳴としては異常に狭く、 Θ^+ の構造に関して重大な制限を与える。我々はこの次の段階として、生成断面積の上昇が見込まれる入射運動量2.0 GeV/ c に上げたランを予定しており、この反応における Θ^+ 生成に関する明確な結論を出すことを目指している。

References

- [1] T. Nakano *et al.*, Phys. Rev. Lett. **91**, 012002 (2003).
- [2] K. Miwa *et al.*, Phys. Lett. B **635**, 72 (2006).
- [3] M. Naruki *et al.*, J-PARC Proposal E19 (2006).

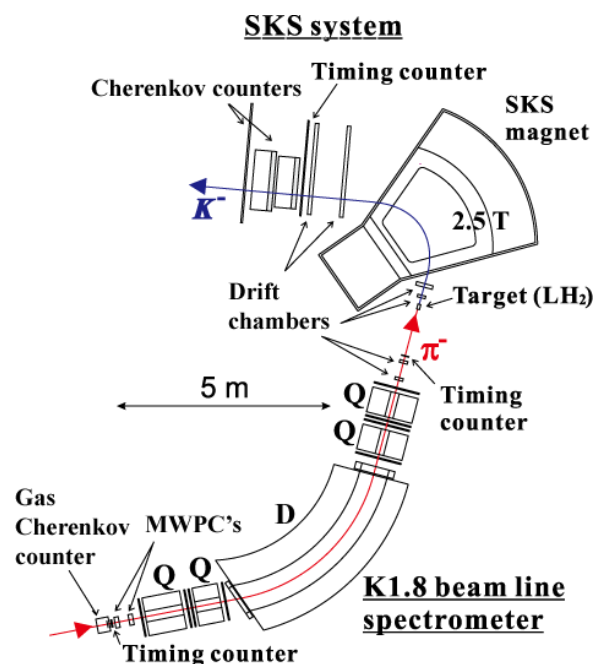


Fig. 1. Setup of the J-PARC E19 experiment.

Probing Alternative Theories of Gravity with Binary Gravitational Waves

天体核研究室 八木絢外

Abstract Gravitational waves (GWs) offer great opportunities in probing alternative theories of gravity in the strong field regime. Here, we focus on simple extensions of general relativity and found that future space-borne GW interferometers can place up to four orders of magnitude stronger constraints than the current strongest ones.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

近い将来、重力波の直接検出が実現されると考えられており、様々なサイエンスが得られるだろうと期待されている。重力波は文字通り重力の情報を直接我々に届けてくれるため、その中でも「強重力場での重力理論の検証」に対しては、重力波がまさにうってつけの道具と考えられている。修正重力理論は、ダーク・エネルギー、ダーク・マター、インフレーションといった未解決問題を自然に解決できる可能性をもつ。さらに、古典重力理論がより根源的な理論の低エネルギー有効理論として現れると考えられると、非常に強重力場において重力理論が一般相対論からずれる可能性がある。弱重力場では、太陽系実験や連星パルサーの観測から、一般相対論は非常に良い精度で検証されているが、特に、一般相対論での波形が良く調べられているコンパクト連星からの重力波を用いることで、強重力場においても精密な重力理論の検証が将来行えると期待される。

一般相対論は、(1) 重力の自由度がテンソル 2 自由度のみ、(2) 重力子は massless、(3) 4 次元、という特徴を持つ。本論文では、これらを単純に拡張した、次の様な理論を考える。(1) 重力の自由度にスカラー場を導入する(Brans-Dicke 理論)。(2) 重力子に有限の質量を付与する(Massive Gravity 理論)。(3) 余剰次元を導入する(RS-II ブレーンワールド模型)。これらの理論では、連星の軌道進化や連星からの重力波の伝播が一般相対論と異なり、観測される重力波形に補正が加わる(図 1 参照)。これらの補正をまず導出し、日本が計画する DECIGO やヨーロッパが計画する LISA といった将来の宇宙重力波干渉計を用いて、どの程度精度良くこの補正を検出できるか計算した。解析の結果、Brans-Dicke 理論及び Massive Gravity 理論に対しては、DECIGO、LISA が現在太陽系実験から得られている弱重力場での制限に比べて、それぞれ 4 桁も強い制限を与えられることがわかった[1,2]。本論文では特に、今まで考慮されていなかった連星の歳差運動が重力理論の検証に大きな役割を果たすことを示した。また、ブレーンワールド模型に対しては、DECIGO が現在の table-top 実験と比べて約 40 倍も強い制限を与えられることがわかった[3]。以上の結果から、連星からの重力波は、強重力場での重力理論の検証において非常に強力であると言える。

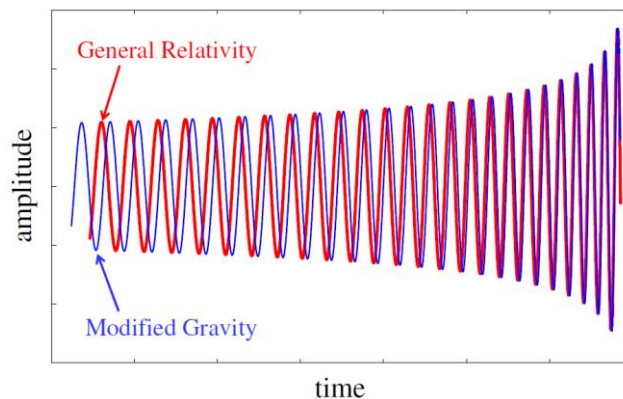


Fig. 1. Gravitational waveforms from a compact binary in GR (red thick) and in modified gravity (blue thin).

References

- [1] Kent Yagi and Takahiro Tanaka, Phys. Rev. **D81**, 064008 (2010).
- [2] Kent Yagi and Takahiro Tanaka, Prog.Theor.Phys. **123**, 1069 (2010).
- [3] Kent Yagi, Norihiro Tanahashi and Takahiro Tanaka, Phys. Rev. **D83**, 084036 (2011).

Magnetic Lens for Pulsed White Neutron Beam Focusing

Accelerator Laboratory Masako Yamada

Abstract We have developed permanent magnet sextupole lens that can focus pulsed white neutron beam without serious chromatic aberration effect. It is achieved by the strength modulation synchronous to the beam pulse. We demonstrated its focusing of wide band very cold neutrons with the wavelength of $27.5 \text{ \AA} < \lambda < 55.0 \text{ \AA}$.

© 2012 Department of Physics, Kyoto University

X線、電子線、中性子ビームをはじめとする量子ビームは物質の構造・機能を探査するプローブとしてその有用性が認められ、中でも中性子ビームは、そのユニークな性質から、時に他の量子ビームと相補的に用いられ、基礎物理の探究、物質科学・生命科学などの基礎研究、材料・機能評価などの応用研究から産業利用に至る幅広い分野で利用されている。研究利用される中性子ビームは主に原子炉か加速器を利用した核破砕中性子源である。いずれの場合も、他の量子ビームと比較すると、ビームフラックスが圧倒的に低く、ユーザーへの供給も不足しているのが現状だ。ビーム生成にかかるコストが高価な中性子ビームをより効率的に利用するため、最近、多種多様な中性子光学素子が開発されてきている。

研究利用される中性子は 100meV 以下のエネルギーを持つ低速中性子で、それらはド・ブローイ波長が物質の原子または分子間隔と同程度であるため、物質の界面で屈折、回折、反射といった波動性を顕著に示す。また、中性子が電荷は持たないがスピン 1/2 を持つことから、それに付随する磁気モーメントを利用して非一様磁場による中性子ビームのハンドリングも可能である。

中性子ビーム集光としては、回転楕円体表面での反射を利用するタイプ、物質界面での屈折を利用するタイプ、六極磁場と磁気モーメントの相互作用を利用するタイプが可能であるが、いずれにしても実用化され中性子実験で利用されているのは単色の中性子に限り集光できる中性子レンズに留まっていた。より多くの中性子を効率的に利用し、効果的に中性子実験を行なうため、広いエネルギー領域にわたる中性子を集光できるレンズの開発が進められている。

我々のグループでは、拡張ハルバッハ型に配置された永久六極磁石を用いたパルス白色中性子ビーム集束用磁気レンズ、mod-PMSx-I を開発した[1]。中性子のエネルギーが異なることによって生じる色収差を、六極磁場強度をビームのパルスに同期させて変調することで、固定されたイメージプレーン上のビームサイズを一定に保つことができる。時間的変調は同軸二重リング状の六極磁石アレイで、内輪を固定し、外輪を一定回転させることで正弦関数的に行うことが出来る。

2009 年、Institute Laue-Langevin 研究所の PF2-VCN ビームラインで集光実験を行い、中性子波長域 $30.0 \text{ \AA} < \lambda < 48.0 \text{ \AA}$ にわたる極冷中性子ビームの集光を実証した。倍率 1 の光学系のもとでのビームサイズは上記の波長域全体にわたってソース（コリメータピンホール）サイズの 3.0 mm におおよそ保たれ、ビームフラックス強度を保ったままある離れた点へと転送することに成功した。このときの焦点距離は 1.14 m でソースから集光位置に置かれた検出面までは 4.56 m であった[2]。より強力で効率的なレンズにするため、レンズボアサイズ（アパチャー）はそのままで、磁石長を 3 倍に増強した磁気レンズ mod-PMSx-II を製作した。2011 年、同ビームラインで集光実験を行い、 $27.5 \text{ \AA} < \lambda < 55.0 \text{ \AA}$ の広い波長域にわたって極冷中性子を焦点距離 0.46 m、ソースから検出面までが 1.82 m と非常に短距離で集光することに成功した。当然このレンズの原理は最も広く用いられている冷中性子にも応用可能であり、mod-PMSx-II を使った場合、例えば 8 \AA の中性子に対する焦点距離は 5.1 m、装置サイズは約 20 m と充分実現可能な性能を持っている。中性子実験装置への応用へむけたデモンストレーション実験も既に成功を収めており[1-2]、実用化は充分可能であると考えている。

References

- [1] Masako Yamada, et al., “The performance of magnetic lens for focusing VCN-SANS”, Nucl. Instr. and Meth. A, Elsevier Author Gateway, 634, 156-160, 2011
- [2] Masako Yamada, et al., “A compact TOF-SANS using focusing lens and very cold neutrons”, Physica B, Elsevier Author Gateway, 406, 2453-2457, 2011