

第 64 回原子核三者若手夏の学校
素粒子パート研究会プログラム

2018 年 8 月 6 日 (月) — 8 月 11 日 (土)

@ (千葉県) 白子温泉 ホテル ニュー・カネイ

1 2018 年 8 月 7 日 (火)

1.1 研究会 1 (19:00-22:15)

1.1.1 藤谷 佳生 (東北大学 素粒子宇宙理論)

「古典的スケール不変な模型のヒッグス新物理探索」

量子補正によって自発的対称性の破れを起こす古典的スケール不変な模型に対して、標準理論を超えるヒッグスセクター新物理の将来の加速器実験での検証可能性を議論する。

1.1.2 小泉 湧希 (早稲田大学 安倍研究室)

「マルチヒッグス超対称標準模型における繰り込み群方程式の解析」

MSSM の性質としてゲージ結合定数が高エネルギーで一致するというものがある。しかし、実験で超対称性が見つかっていないことから、超対称性が破れるスケールがさらに上がっていくことが予測される。これによって MSSM ではゲージ結合定数が高エネルギーで一致することが難しくなってしまう。そこでヒッグスに世代構造を持たせることで、この問題を解決する。

1.1.3 山田 篤幸 (名古屋大学 素粒子論研究室)

「ON ANOMALOUS ELECTROWEAK BARYON-NUMBER NON-CONSERVATION IN THE EARLY UNIVERSE (review)」

バリオン数を保存しないような過程 (スファレロン過程) のレートが数 100 GeV の温度において宇宙の膨張率より大きくなることを示す。この過程が GUT スケールの物理で生じた宇宙のバリオン非対称性をゼロに戻す可能性についても議論する。

1.1.4 中脇 稔貴 (京都大学大学院 素粒子論研究室)

「アクシオンとアノマリー転移」

摂動の高次の効果によって、クォークとの直接の結合を持たないスカラー場がアクシオンとなる可能性が、Nicolai(2010) らによって指摘されている。これに対して本講演は、強い CP 問題とアクシオン模型について概説したのち、簡単なトイモデルにおいて多ループによるアクシオン模型の可能性を議論する。

1.1.5 劉 凱淇 (東京大学 駒場素粒子論研究室)

「Cosmological Collider Physics (review)」

インフレーションは自然界で観測し得るもっとも高エネルギーのプロセスと考えられ、そのシグナルは宇宙の銀河分布や宇宙マイクロ波背景放射のパターンとして現れている。このプロセスは、あたかもインフレーションが宇宙論的な“粒子衝突器”として振る舞い、“終状態”として現在の銀河やマイクロ波背景放射の状態が現れてくる。実際、インフレーション時のハッブル定数と同程度の質量をもつ粒子場が存在すると、これら

の観測結果に特徴的なシグナルを与え、初期ゆらぎの non-gaussianities を生じる。この事実に基づいて、いくつかのインフレーションモデルについて de Sitter space における相関関数を計算し、non-gaussianities を調べることでモデルの妥当性や粒子場の存在可能性を議論する。

参考文献：N. Arkani-Hamed, J. Maldacena [arXiv:1503.08043v1[hep-th]] T. Noumi, M. Yamaguchi, D. Yokoyama [arXiv:1211.1624 [hep-th]]

1.1.6 上場 一慶 (神戸大学 素粒子理論研究室)

「高次元 Dirac における拡張された超対称量子力学」

高次元ディラック場の KK モード関数や 4 次元質量スペクトラムの背後には、拡張された量子力学的超対称性の構造があることが明らかになった。この超対称性により縮退した質量固有値を持つ KK モード関数が互いに関係付けられる。本発表ではこの拡張された量子力学的超対称性について紹介する。

1.1.7 樋口 翔 (京都大学 物理学第 2 教室素粒子論)

「Universality of soft theorem from locality of soft vertex operators」

近年、場の理論や弦理論において、soft theorem の普遍的な性質が研究されている。今回の発表では、soft 粒子と hard 粒子を表す頂点演算子の演算子積展開を考えることにより、弦理論の tree level の soft theorem について議論する。soft 頂点演算子を運動量で展開したときの低次の項は、世界面上の部分積分で変形することにより、hard 粒子と重なったときのみ 0 でない値を持つ超局所的な演算子であることがわかり、soft theorem の普遍性は、この soft 頂点演算子の超局所性から示すことができる。本発表ではその詳細について説明する。なおトークの内容は arXiv:1805.11079 に基づく。

1.1.8 今西 翔一郎 (北海道大学 秦泉寺研究室)

「Mathai-Quillen formalism と位相的場の理論 (review)」

幾何学における Euler 数は、多様体を特徴付ける重要な位相不変量であるが、物理学の位相的場の理論においても、非常に興味深い不変量である。実際に位相的場の理論における分配関数は、ある多様体の Euler 数として表される。Mathai-Quillen formalism は (有限次元) 多様体の Euler 数の計算手法である。Atiyah/Jeffrey はこれを無限次元に拡張する事で、formalism 中の Euler 数の表式を経路積分として捉え、Witten ラグランジアンを構成を行った。また Nekrasov はこの手法を ADHM 構成法の場合に適用し、Nekrasov 分配関数の元となるラグランジアンを得ている。本発表では、Mathai-Quillen formalism と呼ばれる Euler 数の計算手法及び、この手法による Witten ラグランジアンや Nekrasov 分配関数の再現について紹介する。

1.1.9 黒田 航平 (東京工業大学 素粒子論研究室)

「Opers and TBA (arXiv:1403.6137 の review)」

4 次元の $N=2$ のゲージ理論は、半径 R の S^1 の周りでコンパクト化することで、3 次元の $N=4$ の超対称性を持つシグマ模型に帰着し、この理論の真空のモジュライ空間 M はハイパーケーラー多様体と呼ばれるものになっている。Gaiotto, Moore, Neitzke らによって、ハイパーケーラー計量から理論の BPS スペクトルの情報を引き出せることが示されたが、さらに興味深いことに、このモジュライ空間上の Darboux 座標が満たす積分方程式が熱力学的 Bethe 仮設方程式 (TBA 方程式) と極めて類似した形を取ることが見出された。この積分方程式のある種の極限 (TBA の文脈における共形極限) において現れる、モジュライ空間の複素ラグランジアン部分多様体が、ある多様体上の 4 次元理論のコンパクト化で定義される oper 多様体と一致するという

conjecture についてのレビューを行う。

1.1.10 中島 立稀 (名古屋大学 素粒子論研究室)

「行列模型と可解模型について」

行列模型と、CFT や可解模型との関係についてレビューを行う。これらの例は多く知られているが、特に one-matrix 模型の Large N 極限とある種の可解模型に Bethe ansatz を置いた時の関係に注目する。これはスピン鎖の模型である Heisenberg 模型と Large N 極限での $\mathcal{N} = 4$ SYM を関係付ける toy model になる。この対応は AdS/CFT 対応の理解に一つの方法として利用できる可能性があるため重要だと考えられる。

1.1.11 近藤 宇泰 (東京工業大学 伊藤研究室)

「4d 超共形ゲージ理論と 2d 共形場理論の対応 (review)」

任意の 4 次元 $N=2$ 超共形場理論において、特定のツイストを行うと 2 次元共形場理論の対称性が現れることが知られている。超対称性のある共形場理論には超共形指数と呼ばれる量が定義できるが、この関係性は 4 次元 $N=2$ 共形場理論の超共形指数の一つの極限である Schur 指数と 2 次元共形場理論の指標の対応関係からも読み取ることができる。一方、Schur 指数は 4 次元 $N=2$ 超共形ゲージ理論の BPS spectrum から計算できることが知られており、これを用いて non-Lagrangian 理論についても解析を行うことができる。本発表ではこれらのレビューに加えて、BPS spectrum を用いた解析により上記の 4 次元超共形ゲージ理論と 2 次元共形場理論の対応関係を拡張する試みについても紹介する。

1.1.12 塩原 堅司 (北海道大学 素粒子論研究室)

「3 次元スピン 3 重力と W3CFT のホログラフィー」

3 次元スピン 3 重力理論と AdS 空間境界上の W3 共形場理論の双対性の研究を行った。左右のグローバルな W3 代数の生成子はそれぞれ 3 つの変数で表現できることが知られている。先行研究ではバルクの $\mathfrak{sl}(3R) \times \mathfrak{sl}(3R)$ 変換の生成子が 8 変数で表せることが示された。これは通常の 3 次元座標に加えて W 生成子に対応する 5 変数を含むものである。さらに、bulk reconstruction により求められた、スカラー場のバルクにおける状態が、 $\mathfrak{sl}(3R)$ の 2 次 Casimir 演算子から導かれる KG 方程式を満たすこと、この方程式から 8 次元時空の計量が決まることが示された。物理空間は、3 つの通常の座標以外を定数に限った超曲面であり、これが Chern-Simons 理論によるスピン 3 重力理論で知られている、2 つの AdS 空間をつなぐ解と一致することが示された。今回の発表では、3 次 Casimir 演算子由来のスカラー場の方程式からスピン 3 ゲージ場を決定することができること、GKPW dictionary により、スカラー場の作用から W3CFT の 2 点関数が求められることを示す。

1.1.13 岡林 一賢 (早稲田大学先進理工学研究科 前田研究室)

「自転粒子に関するペンローズ過程のエネルギー効率」

極限ブラックホールの事象の地平面付近で粒子の衝突過程を考えると重心系のエネルギーが発散する現象が 2009 年に見つけられ、球対称ブラックホールに対しては、自転粒子に関しても同様な結果が得られることが示されている。また、この衝突ペンローズ過程では、放出粒子のエネルギー効率が問題となり、実際に系からエネルギーを取り出すことが可能であることが示されている。本研究では、そのエネルギー効率を自転粒子の場合に解析した。その結果、初期に無限遠で静止していた同じ質量の粒子が地平線近くで衝突した場合、自転がない場合よりも大きなエネルギー効率を得られ、最大で 26.85 倍（コンプトン散乱）となることを示した。

地平線での衝突は質量中心系のエネルギーが発散するという意味で非常に高エネルギーであるため量子論的な定式化が必要であり、その方法を探る。

1.1.14 平井 隼人 (大阪大学 素粒子論研究室)

「量子電磁力学における漸近対称性」

近年、量子電磁力学において新しい無限次元の“漸近対称性”の存在が明らかになった。また、漸近対称性に伴う電荷の保存則は、Soft theorem や Memory effect と呼ばれる現象と等価であることが解明された。私達は、漸近対称性に関して以下の基礎的な性質を示した。1. 無限遠におけるゲージ場の一部分は BRST 不変、つまり物理的自由度であることから、漸近対称性は物理的対称性とみなせる。2. 漸近対称性に伴う電荷は、無限過去と無限未来での電荷の値のみが等しくなるという特殊な保存則に従う。3. sub-leading soft theorem に対応する保存電荷を具体的に書き下した。これらの研究についての発表を行う。この研究は杉下宗太郎氏との共同研究 arXiv:1805.05651 に基づく。

2 2018 年 8 月 9 日 (木)

2.1 研究会 2-1 (16:30-18:00)

2.1.1 田中 ベドロ (神戸大学 素粒子理論研究室)

「宇宙定数と真空エネルギー (review)」

宇宙定数はダークエネルギーとも呼ばれる。宇宙定数を説明するのに適切な理論は未だ提出されていない。今回、この宇宙定数問題を解決すべく考えられた一つの方法として、余剰次元を用いる方法を紹介したい。本発表では、先行研究のレビューとして、 $M^4 \times S^N$ の余剰次元空間を考え、 $N=\text{odd, even}$ のそれぞれから宇宙定数を説明するのにふさわしい次元を決定する方法を述べる。最終的な結果は余剰次元の半径を $10 \mu\text{m}$ にすると現在観測されている宇宙定数の値と一致するのだが、余剰次元の半径として $10 \mu\text{m}$ は大きすぎる。この結果から、今回の方法では適切な宇宙定数を与えるものとは言えなかったが、この理論は、余剰次元の半径を変えるゆとりが残されている点で宇宙定数の実験値と一致させる値を得るのに十分な可能性を持った理論と言える。

2.1.2 馬場 惇 (筑波大学 素粒子理論研究室)

「Gradient flow を用いたカイラル感受率の測定」

QCD では、ゼロ温度においてカイラル対称性が破れている。一方、高温領域では、カイラル対称性が回復していると言われており、その中間領域では相転移が起きていることが期待されている。この相転移の秩序変数の揺らぎがカイラル感受率である。つまり、有限温度 QCD でカイラル感受率を測定すると相転移温度において鋭いピークが見えると期待されている。本研究では、格子 QCD を用いてカイラル感受率を測定することによって有限温度 QCD の相図を探索する。測定の際にウィルソンフェルミオンというカイラル対称性を明白に破るフェルミオンを用いているため、gradient flow を用いてカイラル感受率の測定を行う。

2.1.3 松川 幸平 (東北大学 素粒子宇宙理論研究室)

「Axion Dark Matter としての QCD Axion とその宇宙論的進化」

暗黒物質の候補として有力視されていた WIMP (Weak Interacting Massive Particle) については、そ

の存在が信じられていた弱スケールに実験が到達した今でも未だに発見されていない。そこで、近年 WISP (Weak Interacting Slim Particle) が注目されてきている。本発表では、その WISP の中でも QCD の抱える Strong CP 問題を解決することからその存在が信じられている QCD アクシオンについて、厳密な PQ 対称性を課した場合のモデルを用いてそのダイナミクスを説明した後に、近似的な PQ 対称性を考えた場合のモデルの拡張とその場合の宇宙論的制限について議論する。

2.1.4 渡辺 彬生 (東京大学 素粒子論研究室)

「量子群と R 行列についての紹介と応用 (review)」

リー代数が物理の諸分野の理解に不可欠であることはよく知られているが、量子群というリー代数の一般化 (リー代数の包絡環の q 変形) があり、物理でも可解模型の理解に活用されている。この発表では、もっとも簡単なリー代数 $sl(2, C)$ の場合を例として、量子群と R 行列について説明する。また、量子群の弦理論 (共形場理論) での応用についても紹介する予定である。

2.1.5 本多 正樹 (早稲田大学 安倍研究室)

「行列模型における非可換トーラスとその応用」

行列模型は超弦理論の非摂動的な定式化として提案された。本発表では石橋一川合一北澤一土屋 (IKKT) 模型に注目する。IKKT 模型には、無理数回転環としての非可換トーラスなど、本質的に無限次元行列であるものが自然な解として含まれることが知られている。本発表では非可換トーラス上のカイラリティや世代構造などを IKKT 模型の立場から解析した結果について紹介する。

2.2 研究会 2-2 (19:00-22:15)

2.2.1 村井 開 (東京大学 川崎研究室)

「インフレーションの有効場理論 (review)」

インフレーションはビッグバン宇宙論の様々な問題を解決し、大規模構造などの元となる宇宙の原始ゆらぎを説明する。しかしこのゆらぎの計算はプランクスケールの物理や用いるモデルに依存する。そこでインフレーション背景周りのゆらぎを直接有効場理論で表すことにより、高エネルギー物理の知識を用いずに単一場インフレーションモデルを統一的に扱うことができる。本発表では有効場理論のパラメーターを決めることで具体的なインフレーションモデルが導かれる例を確かめ、ゆらぎの音速と非ガウス性の関係などの有効場理論から得られる結果をいくつか紹介する。その際、ゲージ固定によって破れた時間座標変換対称性を用いて書いた有効場理論にも触れる。参考文献:arXiv:0709.0293v2 [hep-th]

2.2.2 富田 克樹 (金沢大学 素粒子・宇宙・理論物理研究室)

「古典的スケール不変な素粒子模型に基づくインフレーション」

本研究では、隠れたセクターにおける力学的カイラル対称性の破れによって質量起源とダークマターを説明する古典的スケール不変な模型に基づいて、宇宙のインフレーションを考える。この模型ではヒッグス場の他に新たに実スカラー場が一つ導入されるが、複数のスカラー場が存在する場合には、エントロピー揺らぎ (等曲率揺らぎ) を無視できないことが知られている。この発表では質量起源とダークマターに加えて、曲率揺らぎや等曲率揺らぎに関する観測結果を同時に説明できるかについて議論する。

2.2.3 金子 大毅（金沢大学 素粒子・宇宙・理論物理研究室）

「複数種類の暗黒物質を含む輻射シーソー模型」

素粒子標準模型は、これまで行われてきた高エネルギー実験の結果をほとんど正しく説明することができる。しかしその一方で、観測結果の中には標準模型では説明することができない未解決問題がいくつか存在する。その未解決問題の一つに暗黒物質の存在がある。暗黒物質は渦巻銀河の回転速度や重力レンズ効果などの宇宙観測により存在が明らかになっている。暗黒物質の正体は現在のところ不明であるが、標準模型には含まれていない安定な粒子であると考えられている。TeV スケールの拡張模型はこれまで数多く提案されており、未解決問題の一部を暗黒物質と同時に説明する拡張模型も存在する。その中の 1 つとして、ニュートリノの質量を量子効果により説明するために導入した対称性により、暗黒物質の安定性も保障する模型がある。課された対称性によっては、安定性が保障される粒子は必ずしも 1 種類とは限らず、複数種類存在する可能性も考えられる。この場合、暗黒物質が別の暗黒物質に対消滅するなどの新しい対消滅過程が存在し、それらの過程が暗黒物質の残存量に影響を与えることが考えられる。したがって暗黒物質が 1 種類だけの場合の観測に対する予言は、さらに別の暗黒物質が存在する場合と大きく異なる可能性もある。本研究では標準模型に 2 つの離散対称性を課すことにより、ニュートリノの質量が 2 ループで生成され、暗黒物質が複数種類存在する拡張模型を提案する。この模型において、暗黒物質の直接観測による制限に矛盾しないパラメータ領域に対し、ニュートリノの質量と暗黒物質の残存量を同時に説明できる可能性を議論する。さらに、暗黒物質の間接観測による検証可能性についても議論を行う。

2.2.4 岩島 呂帆（京都大学 素粒子論研究室）

「Cosmic rays from neutrino-philic decaying Dark Matter」

宇宙線の観測データは、ダークマターの質量が TeV スケールにあることを示唆している。一方、レプトン数の破れを説明する模型の一つである Majoron 模型は、ダークマターの候補でもあるが、今まで専ら KeV スケールの Majoron のみが考察されてきた。そこで、我々は重い Majoron の存在を仮定し、その崩壊により観測されるであろう宇宙線を推定して、観測されている陽電子フラックスの異常をよく説明できることを示した。

2.2.5 石田 誠（早稲田大学 安倍研究室）

「背景磁場をもつ余剰次元オービフォールド模型における固定点に局在した超対称質量項のヒッグス場への影響」

背景磁場をもつ 6 次元オービフォールド上の固定点に局在した超対称質量項 (μ 項) が、ヒッグス場のゼロモードに及ぼす影響を調べた。余剰次元空間に背景磁場を考えると、クォーク・レプトンの世代数や湯川階層構造を説明できる一方、ヒッグス場にも複数のゼロモードが現れ、一般には多世代ヒッグス模型となる。本講演では、局在した μ 項の特定の配位に対して、多世代ヒッグスの 1 つを除きコンパクト化のスケール程度に重くなり、残りの 1 つが階層的に小さな質量を得ることを示す。

2.2.6 阿部 慶彦（京都大学 物理学第二教室素粒子論研究室）

「Gradient flow とくりこみ群」

Gradient flow のくりこみ群 (RG) としての構造について議論をする。本発表においては、従来の裸の作用ではなく、各 flow time における有効作用が生成する gradient flow を考える。このとき、場の運動項が

canonical な形を持つように、各 flow time において適切に場の変数変換を行うことで、作用の発展方程式が RG 方程式とみなせることを議論する。さらに、この方程式に対して局所ポテンシャル近似と ε 展開を行うことで、1 成分スカラー場系の Gauss 固定点や Wilson-Fisher 固定点を表す線型化された RG 方程式の固有値が、 ε オーダーで正しく導出できることを示す。

2.2.7 荻野 孝浩 (名古屋大学 素粒子論研究室)

「バリオン励起状態のゲージ・重力対応に基づく解析」

我々はゲージ・重力対応に基づくハドロンの記述を試みる。特に、バリオン励起状態に着目し、この観点から十分な議論がなされていない弦的描像として D4/D8 模型を採用する。また、平坦時空中の弦を扱うような極限における模型の解析後、時空の曲がり、RR フラックス、弦同士の相互作用から生じる寄与を調べることでバリオン励起状態の理解を目指す。メソン励起状態の議論は既になされているため、本研究ではバリオン励起状態に着目する。

2.2.8 春名 純一 (京都大学 素粒子論研究室 (物理 2))

「S 行列のあり得る対称性について (review)」

理論は系の持つ対称性により強く決定されるということが現代的な見方である。それでは、相対論的な場の量子論を考えると、許される理論の連続対称性にはどのようなものがあるだろうか。実は、Coleman-Mandula-Haag-Lopuszanski-Sohnius の定理というものがあり、適当な仮定のもので、S 行列の持ちうる対称性は内部対称性と Poincare 対称性、および超対称性のみであることが示される。今回はこの定理の基本的なアイデアと証明を概観する。参考文献: Sidney Coleman, Jeffrey Mandula, Physical Review, 159(5), 1967, pp. 1251-1256. Haag, Rudolf; Sohnius, Martin; Lopuszanski, Jan T. (1975), Nuclear Physics B, 88: 257-274,

2.2.9 廣瀬 拓哉 (大阪市立大学 素粒子論研究室)

「6 次元 magnetic flux の有効場理論と量子補正 (review)」

高次元の理論において、余剰空間内に magnetic flux が存在すると考える理論がある。この magnetic flux が存在することで、様々な利点があることが知られている。本発表では、特に 6 次元に限定し、余剰空間を 2 次元トーラスとみなす。その余剰空間内に magnetic flux が存在するときの有効作用がどのように表せるのかを Abelian、Non-Abelian の両方の場合で見ると、その有効作用を元に、Wilson line の質量と結合定数の量子補正を計算し、その結果について考察する。なお本発表は [arXiv:1611.03798] の内容に基づいている。

2.2.10 落合 誠 (早稲田大学 中里・安倍研究室)

「Completeness of scattering states of the Dirac Hamiltonian with a step potential」

1 次元階段ポテンシャル系の Dirac ハミルトニアンに対する固有状態の完全性を初等的な計算によって示す。系の固有状態は階段ポテンシャルによる相対論的フェルミオンの定常散乱を記述し、その中には Klein パラドックス (O. Klein, 1929) として知られる散乱状態も含まれる。全ての散乱状態を足し上げる際、運動量の複素平面上で慎重に解析接続を行えば、高級な数学を用いずとも完全性関係式を導出することができる。

2.2.11 松本 信行 (京都大学 素粒子論研究室)

「Applying the generalized Lefschetz thimble method with parallel tempering algorithm to the sign problem in the Hubbard model」

有限密度の Hubbard model において数値シミュレーションを行うと符号問題が発生し、物理量の評価が困難になる。本発表では、符号問題への対処法のひとつである generalized Lefschetz thimble 法に parallel tempering 法を組み合わせたアルゴリズムを適用した結果を示し、その結果に対する物理的考察を行う。

2.2.12 奥村 傑（京都大学 素粒子論研究室）

「変形された Jackiw-Teitelboim 模型における正則な解」

1+1 次元ディラトン重力模型のひとつである Jackiw-Teitelboim 模型に対して、可積分変形の一種である Yang-Baxter 変形の手法に基づいた変形を行い、その重力解の性質を議論する。これまで知られていた解は変形によって生じた特異性を持ち、物理的に問題があった。本講演では、ディラトンを用いた Weyl 変換によって新しいフレームに移ることで、特異性を持たない正則な解の族を新しく構成できた。この族はブラックホール解を含み、その Bekenstein-Hawking エントロピーは適切な局所的相殺項を用いて定義される境界のストレンソルから再導出できる。また、この Weyl 変換後の理論は、Einstein-Hilbert 作用から導出できることを示す。

3 2018 年 8 月 10 日（金）

3.1 研究会 3-1 (16:30-18:00)

3.1.1 井上 奉紀（神戸大学 素粒子論研究室）

「余剰次元における隠された量子力学的超対称性 (review)」

高次元ゲージ理論は標準理論を超えた物理の候補として期待されている。高次元でのゲージ対称性や共変性を直接見ることはできないが、それらは 4 次元低エネルギー有効理論に隠されている。本発表では、スピノル・ゲージ・重力の場の理論における 4 次元質量スペクトラムに、量子力学的超対称性が必ず隠れていることを示す。また、4 次元の massless mode が超対称量子力学系のゼロエネルギー状態に対応していることを明らかにする。さらに、超対称性と矛盾しないために余剰次元方向の境界条件が強く制限されていることも示す。

3.1.2 佐藤 慎太郎（早稲田大学 前田研究室）

「熱場の量子論に基づく相対論的流体力学の基礎方程式」

マクロな熱平衡系を記述する理論を、ミクロな物理系を記述する量子力学から説明する平衡統計力学は成功を収めている。その一方で、粒子の流れなどがある非平衡現象を扱う非平衡 (統計) 物理学の枠組みは、平衡近傍を扱う揺動散逸定理や線形応答理論などにより古くから研究がなされているが、平衡から大きく離れた非平衡現象に関しては未だに統一的な理解がなされていない。しかし、近年の非平衡統計力学の発展をふまえ、熱場の量子論に基づき相対論的流体力学の基礎方程式を導出する試みがなされている。特に非散逸な流体の熱力学関数については経路積分を用いることでその熱力学的性質を幾何学的な性質に反映できることが分かっている。本発表では以上の結果を踏まえ、曲がった時空上での場の量子論で研究されてきた手法を用いることでスカラー場の熱力学関数を解析し、流体圧力における温度の空間依存性を議論する。

3.1.3 藤原 翔太（東京工業大学 今村研究室）

「超共形指数と AdS/CFT 対応 (review)」

超共形指数と呼ばれる量が 2005 年に Kinney, Maldacena らによって提唱された。これは理論に含まれる BPS 状態のスペクトラムを表す量であり、結合定数の連続的な変化によらない等の性質を持つ。超共形指数は AdS/CFT 対応の関係にある、4 次元 $N=4$ SYM 理論と $AdS_5 \times S^5$ 時空上の Type IIB 超重力理論では等しいと考えられる。実際、large- N 極限において、4 次元 $N=4$ SYM 理論における超共形指数が $AdS_5 \times S^5$ 時空上の Type IIB 超重力理論の KK-mode から計算される指数と一致することが示された。しかし、finite- N においては両者は一致しないことが知られている。このことには Giant Graviton と呼ばれる、KK-mode と同じ量子数をもつ D3 ブレーンの配位が深く関わっており、本発表ではその性質や構成法についても紹介する。

3.1.4 宮田 晃宏 (東京大学 駒場素粒子論研究室)

「AdS/CFT 対応における Traversable Wormhole(review)」

Wormhole は Einstein 方程式の解として与えられる。一般相対性理論によると、通常、Wormhole の 1 つの入り口から他方の出口へと、その中を通り渡航することが可能な (Traversable) Wormhole の存在は禁止されている。その理由は、Wormhole が Traversable であるためには、通常の古典的な物理系では成立していると考えられている Averaged Null Energy Condition という条件が破られている必要があるためである。近年、AdS/CFT 対応における Eternal Black Hole において、そのような Averaged Null Energy Condition を破るような方法が発見され、Wormhole を Traversable にすることが可能になった。その研究に関し、最近の研究も含め Review を行う。

3.1.5 世田 拓也 (京都大学 物理学第二素粒子論研究室)

「ブラックホールと熱力学法則」

ブラックホールは温度やエントロピーを持ち、熱力学的な対象として理解されることが知られている。このような熱力学的な性質は、重力の興味深い性質のひとつである。本講演では、まずブラックホールの熱力学量を定義する。その上で、これらの量が通常の熱力学第一法則と同様の法則を満たすことをみる。また熱力学第二・第三法則についても、どのように理解されるのか述べる。

3.1.6 岡野 創 (早稲田大学 前田研究室)

「ゲージ・重力対応を基礎にした p 波超伝導の解析」

5+1 次元の Einstein-Yang-Mills 系において、漸近的 planarAdS 時空上に非可換ゲージ場の hair を生やし、空間の 1 方向について S1compact 化した場合を考える。計量と非可換ゲージ場に適当な仮定を与えれば、ゲージ場が電荷部分のみをもつか電荷と磁荷の両方をもつか、加えて Black hole か AdS-Soliton になるかで計 4 種類の解を数値的に求められる。磁荷をもつ解はゲージ・重力対応の枠組みで考えると p 波超伝導相に対応し、Soliton 解は閉じ込め相に対応しているので、この系は 3+1 次元の閉じ込め-非閉じ込め相転移を含んだ p 波超伝導体と対応している。本研究では結合定数を変化させた時の系の振る舞いの変化を解析した。特に、結合定数を変化させることで 2 相間の転移が 2 次相転移から 1 次相転移に移行することを確認し、結合定数によっては p 波超伝導が存在しなくなることを数値的に示した。また、二つの Black hole 解について GKP-Witten 処方を用いて boundary 側の flux を解析し、実際に p 波異方性が実現されていることを確認した。参考文献:arXiv:0912.3515,arXiv:0810.1563,arXiv:1007.3714

3.2 研究会 3-2 (19:00-22:15)

3.2.1 荒井 玲於奈 (東京工業大学 今村研究室)

「 $N=3$ 理論の超共形指数 (review)」

近年 AdS/CFT 対応を用いて、4 次元の場の理論において Regalado らによって $N=3$ の超対称性を持つ理論が構成された。 $N=3$ 理論は摂動的に構成しようとする、超対称性が自動的に $N=4$ に拡張されてしまうことが知られており、その構成は難しかった。しかし Regalado らは、4 次元 $N=4$ 超共形場理論の重力双対である、 $AdS_5 \times S^5$ 時空を $Z_{3,4,6}$ オービフォールド化し、重力側で $N=3$ 超対称性を持つ理論を構成することに成功した。AdS/CFT 対応は場の理論の非摂動効果を重力側で解析できる対応として知られており、 $AdS_5 \times S^5 / Z_{3,4,6}$ 時空に対応した場の理論は非摂動的な構成であって、 $N=3$ 超対称性を持つと考えられる。このような非摂動的に作られた $N=3$ 理論はラグランジアンを持たないため、一般に解析は困難であるが、超共形指数と呼ばれる物理量を計算すれば、理論にどのような場があるか推定できることが知られている。そこで、今回の発表では超共形指数の特殊な極限である Schur 指数を $N=3$ 理論で計算することを試みる。

3.2.2 竹内 俊暁 (神戸大学 宇宙論研究室)

「Polyakov Block を使った Bootstrap 法 (レビュー)」

ユニタリーで因果律を満たす Minkowski 空間上の CFT は、Euclid 空間に解析接続すると OPE が収束し Crossing Symmetry を満たす事が知られている。OPE と Crossing Symmetry の整合性から、4 点関数への制約を調べる Bootstrap という方法がある。今回の発表では 4 点関数を Crossing Symmetric な基底で分解した Polyakov Block を使った Bootstrap をレビューする。 $O(N)$ モデルへの応用や、Polyakov Block の構成に欠かせない運動量空間での三点関数の最近の発展も紹介したい。

3.2.3 森 崇人 (総合研究大学院大学 素粒子原子核専攻)

「Overview of tensor networks (review)」

物性の量子多体系で使われ、最近では AdS/CFT 対応の解釈として取り上げられている、テンソルネットワーク (TN) の紹介をする。MPS (行列積状態) から始め、最終的には MERA と呼ばれる縦方向にも広がりを持つ TN を導入する。具体例も取り上げる。特に、時間があれば、AdS/CFT 対応を TN の計量の計算から解釈する。この発表は arXiv:cond-mat.str-el/0910.1130, quant-ph/0610099, hep-th/1208.3469 などに基づく。

3.2.4 山代 和志 (静岡大学 土屋研究室)

「Entanglement Renormalization and Holography (review)」

Entanglement Renormalization は、実空間繰り込みに加えて、Entanglement を付加するテンソルを組み合わせることで、量子状態をより正しく構成するテンソルネットワークの手法である。ネットワークの階層方向は離散的な繰り込み群の長さスケールと捉えることができ、この木構造そのものは幾何として見ることができる。このとき、Entanglement の増大と、ネットワークの拡大が直接対応していて、特に 1 次元臨界系の Multi-scale Entanglement Renormalization Ansatz (MERA) ではエンタングルメントエントロピーのエリア則の破れまで再現している。このようにテンソルネットワークから幾何 (時空) が出現し、まさにゲージ重力対応の描像になっていることを紹介する。

3.2.5 森 達也 (東京工業大学 今村研究室)

「Schur Indices, BPS Particles, and Argyres-Douglas Theories (review)」

4 次元 $N=2$ 理論には Argyres-Douglas 理論といったラグランジアンによる記述を持たない理論が存在し、その性質は現在でも謎が多い。Schur 指数はこのようなラグランジアンを持たない理論の性質を調べる上で重要な物理量である。本発表では Cordova と Shao が提案した、BPS 粒子の情報から Schur 指数を計算する強力な手法である IR formula を紹介し、arXiv:1506.00265 のレビューを行う。

3.2.6 龍澤 誠之 (京都大学 素粒子論 (物理二))

「一般の次元及び曲がった空間上でのスピノル場」

我々は 3 次元 Euclid 空間及び 4 次元 Minkowski 空間上のスピノルの理論についてはよく知っているが、一般の次元でのスピノルの理論や、非自明なホモロジーや計量を持つ空間上でのスピノル場の理論について知らない方が多いのではないだろうか？この発表では、そういった方のために一般のスピノル場の理論についての詳細を述べ、空間の非自明なホモロジーに起因するスピン構造の不定性の具体例や、時間が許せば実スカラー場と Majorana スピノル場の間の対称性を取り込んだ超重力理論について軽く紹介したいと思う。

3.2.7 佐々木 伸 (北海道大学 素粒子論研究室)

「Exact solutions for primordial gravitational waves」

Weierstrass の楕円関数を用いることで、非相対論的物質と宇宙定数の存在下で原始重力波を記述する方程式の厳密解が得られることを示す。

3.2.8 内田 光 (北海道大学 素粒子論研究室)

「Pati-Salam Model from String Theory」

自然界の現象を記述する 4 つの相互作用のうち、重力以外の電磁相互作用、弱い相互作用、強い相互作用全ての起源となる相互作用を記述する大統一理論のうちの一つのモデルである Pati-Salam Model を II A 型超弦理論の D6-ブレーンを用いて構成する。

3.2.9 金子 智一 (東北大学 素粒子・宇宙理論研究室)

「Algebroid Gauge Theory とその応用」

通常のゲージ理論は Lie 代数に基づいて構成される 1 形式場の理論である。このゲージ理論の拡張として高階の形式場から成る higher gauge theory や、Lie 代数の構造定数がスカラー場の関数であるような algebroid gauge theory が研究されている。本研究ではこれらの拡張されたゲージ理論が QP 多様体上の超場形式によって統一的に構成できることを示した。特に algebroid gauge theory の具体的な構成を行い、off-shell で共変化するためにゲージ変換と場の強さの変形項が満たすべき方程式を導いた。また、本発表では algebroid gauge theory の応用として non-abelian T-duality への適用の可能性についても議論する。

3.2.10 北出 智巳 (奈良女子大学 素粒子論研究室)

「開弦の場の理論における閉弦の対称性」

我々は、identity-based タキオン真空解の周りで展開した開弦の場の理論において、閉弦の理論に含まれるべき対称性を発見した。これは、開弦の場を用いて、純粋な閉弦の理論が定式化できる可能性を示唆している。

3.2.11 Chune Christopher (北海道大学 素粒子論研究室)

「Heterotic string theory on orbifolds with NS5-brane」

Five dimensional brane is used in description of heterotic string theory with orbifolds

3.2.12 杉山 健斗 (静岡大学 森田研究室)

「Chern-Simons 行列模型の一般解と弦理論の非摂動効果」

Chern-Simons(CS) 理論はゲージ/重力対応から弦理論の非摂動的側面を記述することが期待されているゲージ理論の一つである。この理論は近年進展が著しい局所化と呼ばれる手法を用いると、CS 行列模型と呼ばれる比較的単純な行列模型に還元されることが知られている。本研究で私達は CS 行列模型の large-N 極限にこれまで知られていなかった様々な解が存在することを発見し、その解析解を構成した。この発表では CS 行列模型における様々な解の存在について紹介した後に、この解の一部が弦理論の非摂動効果と関係することを簡単な見積もりから示す。

3.2.13 仮屋園 勇希 (北海道大学 素粒子論研究室)

「D-brane」

素粒子物理に対する弦理論のモデルについて。

3.2.14 高田 慎太郎 (北海道大学 素粒子論研究室)

「Spontaneous localization of bulk fields and magnetized D brane」

TBA