

<https://www2.kek.jp/theory-center/theory/>

理論センターでは、2022 年 11 月には GuangJuan Wang 助教が着任した。エキゾチックハドロンをふくむハドロン物理の研究に進展が期待される。

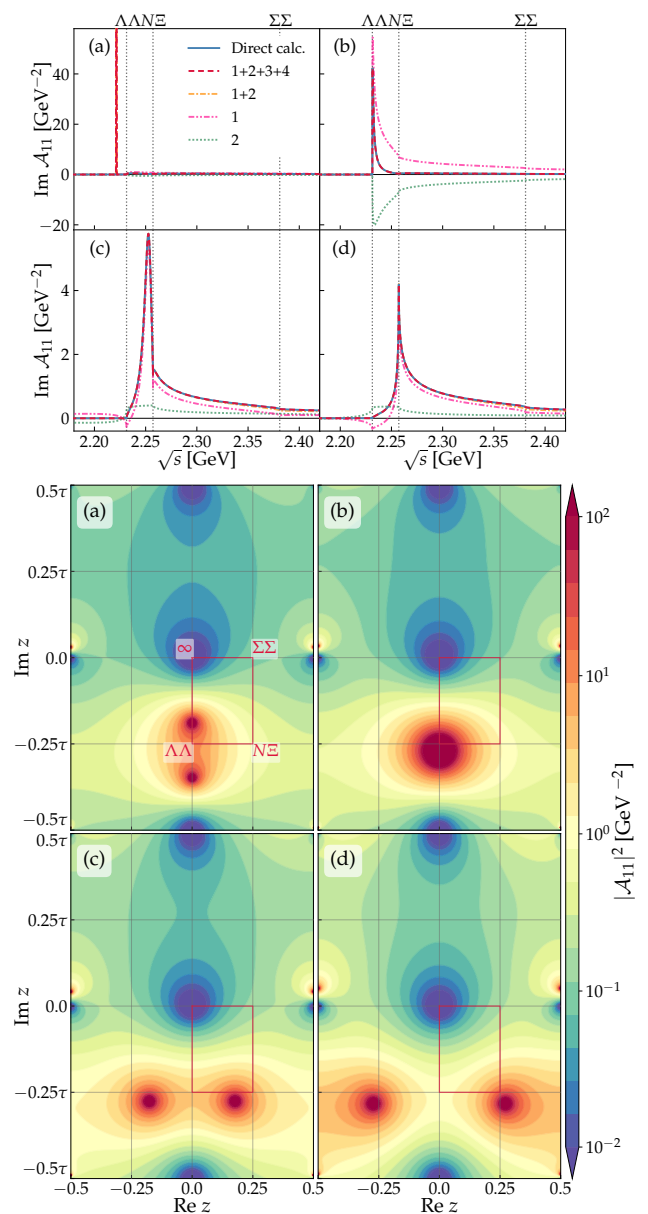
理論センターからの発表論文は、随時

<https://www2.kek.jp/theory-center/theory/preprint/>

でアップデートしている。これらのうち、2022 年 10 月以降の主な成果を紹介する。

- **3-チャンネル S 行列の解析的地図** [Wren A. Yamada, Osamu Morimatsu, Toru Sato, “Analytic Map of Three-Channel S Matrix: Generalized Uniformization and Mittag-Leffler Expansion” Physical Review Letters 129, 192001 (2022); arXiv:2203.17069]

S 行列の解析性は、散乱を理解するために本質的な役割を果たす。エネルギーを変数として S 行列を一価関数として表すためには、チャンネル数が n の場合、 $2n$ 枚のリーマン面が必要である。変数変換により S 行列を 1 枚のリーマン面上で一価関数として表すことを一意化と言い、S 行列は一意化変数の有理形関数となるので、ミッタク-レフラー展開（極展開）が可能となる。チャンネル数が 1 の場合の一意化は、運動量を変数として自明に実現され、チャンネル数が 2 の場合の一意化も、以前から知られている。チャンネル数が 3 の場合、トーラス上で一意化できることが予想されていたが、具体的な変数変換は知られていなかった。本論文では、



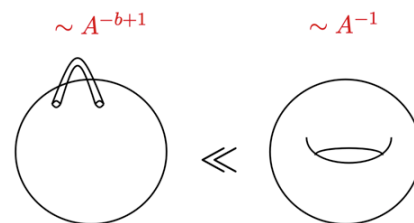
チャンネル数が3の場合、S行列がヤコビの楕円関数の逆関数を用いてトーラス上で一意化されることを初

3-チャンネルの散乱振幅(上図)とトーラス上におけるS行列の解析的地図(下図)の例 ($S=-2, I=0, J^P=0^+, \Lambda \wedge -N \equiv -\Sigma \Sigma$)

めて具体的に示した。また、一意化変数によるミッター-レフラー展開は、鏡像による寄与も含む形でワイエルシュトラウスのゼータ関数によって与えられることも示した。得られた結果は、理論による計算結果の解釈や実験結果の解析において重要な役割を果たすことが期待される。

- **2次元および4次元量子重力理論における Coleman 機構の妥当性** [Yuta Hamada, Hikaru Kawai, Kiyoharu Kawana 2210.05134, JHEP 12 (2022) 100]

量子重力理論においては、時空が量子的に揺らぐため、様々な時空のトポロジーを考慮する必要がある。トポロジーの足し合わせを考えることで、自然界に存在する基本定数が自動的に調整される機構が Coleman によって提唱された。この研究では、2次元および4次元の量子重力理論において、Coleman 機構の妥当性を検証した。2



2次元時空のトポロジーの足しあげを表した図。左側が Coleman 機構に寄与する時空で右側が寄与しないもの。右側の時空の寄与が支配的であるため、Coleman 機構は機能しない。

次元ユークリッド量子重力においては、Liouville 理論による定式化を使うことで、トポロジーの足し合わせがあるものの、Coleman 機構が起こらないことが示された。4次元量子重力理論は未だに定式化されていないが、モデルを仮定することで、Coleman 機構が起こり、現在の不自然な宇宙項の値を説明できる可能性が示された。

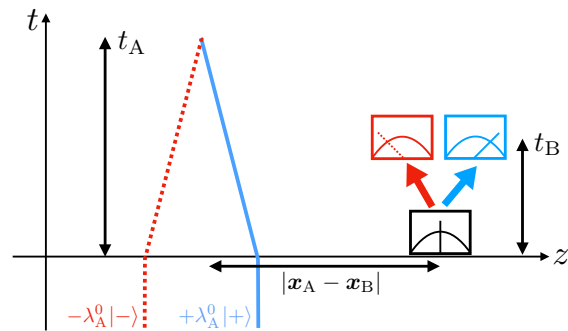
- **ホログラフィック超伝導でのマイスナー効果の存在** [M. Natsuume and T. Okamura, “Holographic Meissner effect,” Phys. Rev. D106 (2022) 086005; arXiv:2207.07182]

超弦理論の AdS/CFT 双対性あるいはホログラフィック双対性は、現実の物理系への応用が進められてきている。たとえば、クォーク・グルーオン・プラズマ、物性物理、非平衡物理や非線形物理などが挙げられる。なかでも「ホログラフィック超伝導」と呼ばれる超伝導をあらわすモデルがあり、幅広く研究されてきた。一方、超伝導の特徴的な現象は、マイスナー効果、磁場の排除効果である。ところが、ホログラフィック超伝導ではこれまでマイスナー効果はほとんど議論されてこなかった。本研究では、

ホログラフィック超伝導のマイスナー効果を解析的に初めて示した。また、超伝導体はタイプ I とタイプ II の 2 種類があり、どちらに属するかはギンツブルグ・ランダウ (GL) パラメーターの値で決まる。しかし、ホログラフィック超伝導では、どのような場合にタイプ I なのかタイプ II なのかさえ不明確だった。この研究では、ホログラフィック超伝導で、GL パラメーターを解析的に初めて導出した。本研究により、ホログラフィック超伝導が超伝導をあらわすという点が明確になった。

- **量子エンタングルメント生成消滅における相対論的因果律と粒子生成** [shimasa Hidaka, Satoshi Iso, Kengo Shimada, “Complementarity and causal propagation of decoherence by measurement in relativistic quantum field theories,” Phys. Rev. D 106, 076018 (2022)]

アリスが重ね合わせ状態の量子系を保持し、それをボブが測定する問題を考える(図参照)。アリスの重ね合わせ状態は、ボブの測定系と相互作用しエンタングルメントすることでその干渉を喪失する。空間的に離れたボブが場を通じて観測を行なった場合でも干渉が消失すると考えられる。では、“ボブが測定した”



思考実験セットアップ。重ね合わせ状態を持った量子系(アリス, 左)を空間的に離れた測定者(ボブ, 右)が場を通じて観測する。青の実線と赤の破線は、それぞれ、2つのスピン状態に対する粒子の軌跡を模式的に表している。

という情報がアリスに伝わる前にアリスがアリスの量子系の干渉の有無を測定した場合はどうなるだろうか？相対論では因果律によりボブの測定はアリスの測定には影響しない。そのためアリスの干渉は保たれたままと期待される。一方で、ボブは測定によりアリスの情報を得ることができたとすると量子複製不可能定理からアリスの干渉は破壊されなければならない。これら2つの間に矛盾が生じているように見える。このパラドックスは先行研究で提示され、その後定性的な解決法が提案された。本論文では、この問題に対して解析的に解くことができるモデルを構築し閉時間経路形式を用いて具体的に解析した。その結果、情報伝達の因果律を司る遅延 Green 関数と干渉の破壊を司る Keldysh-Green 関数がこの系のダイナミクスに関して重要な役割を担い、一見因果律と矛盾して情報伝達が起こる状況では Keldysh-Green 関数によって記述される粒子生成に起因したデコヒーレンスが避けられず、実際にはアリスの干渉は消失してしまうことを陽

に示した。また、これらの干渉と情報取得可能性の間のトレードオフ関係についても議論した。