会場 A

素粒子論領域

A-1 CP 非対称性に温度依存性を考慮したレプトジェネシス

佐賀大学理工学研究科 [A], 佐賀大学理工学部 [B] 丸山凌磨[A], 船久保公一 [B]

本研究では、初期宇宙におけるレプトン非対称性の生成を解析する。先行研究では、非平衡量子場理論の CTP 形式から運動方程式を導出し、従来のボルツマン方程式で必要となる実中間状態の差し引き（RIS）に対応する相殺が生じ、平衡状態では非対称性が生成されないことが示されている。また、ヒッグス粒子のボース統計に由来する量子統計的補正は、強い washout 領域では最終的なレプトン非対称性への影響が小さいが、弱い領域では初期条件によって無視できない大きさになることが示されている。

本研究では、有効 CP 非対称性の評価に用いられる、重ニュートリノの分布を平衡近傍の形で近似する方法に着目する。この近似を用いる代わりに、分布関数の時間発展を運動量ごとに数値計算し、平衡からのずれを直接反映した CP 非対称性を評価する。さらに、そこから生成されるレプトン非対称性を平衡近似による結果と比較し、重ニュートリノの非平衡性と初期条件が最終収量に与える影響を調べる。

A-3 Exothermic nuclear recoils from thermal quasi-pNGB dark matter

Kyushu University[A], Kanazawa ILAS[B], Kanazawa ITP[C], Kyushu RCAPP[D], Kyushu QUASR[E], Kavli IPMU[F] Sheikh Riasat[A], Toma Takashi[B,C], Tsumura Koji[A,D,E,F]

We study a two-component dark matter scenario comprising a stable pseudo-Nambu-Goldstone boson (pNGB) and its nearly degenerate long-lived quasi-pNGB partner. An approximate scalar symmetry relates their masses and suppresses the tree-level Higgs-mediated elastic scattering of the excited state through the small mass splitting. Their coupled thermal evolution yields comparable relic populations, while requiring the observed total abundance fixes the dark scalar symmetry-breaking scale and hence the dark gauge coupling. At the studied benchmark, an excited fraction of approximately one half survives under the adopted evolution assumptions. The quasi-pNGB excited state can therefore produce exothermic nuclear recoils despite a suppressed tree-level elastic signal. As an application, we examine the high-energy LUX-ZEPLIN event. For relic compatible parameters, the recoil normalization fixes the kinetic mixing, allowing this interpretation to be tested by independent mediator searches.

A-4 Taming lepton portal dark matter by a non-invertible selection rule

熊本保健科学大学 [A] 川村淳一郎[A]

本講演では、非可逆対称性を用いて、レプトンポータル暗黒物質模型におけるフレーバーの破れを制御する仕組みについて議論する。レプトンポータル暗黒物質は、直接検出実験による厳しい制限を回避し得る WIMP 暗黒物質の候補であるが、レプトンフレーバーを破る相互作用への制限が課題となる。まず、通常の可逆対称性では、PMNS 行列の大きな混合角とフレーバーを破るポータル結合の抑制を両立することが難しいことを示す。次に、Z5 対称性の Z2 ゲージ化に基づく模型を紹介し、PMNS 行列と整合的に、ポータル結合が単一のレプトンフレーバーに支配される構造を実現できることを示す。さらに、タイプ I シーソー機構を導入した場合に生じ得るフレーバー混合の影響について議論し、特に Z ボソン崩壊におけるレプトンフレーバー非普遍性を通じた実験的検証の可能性について紹介する。

A-5 粒子干渉計におけるソフト重力子の放射と Faddeev-Kurish 手法

九州大学 [A], 時空量子連携研究機構 [B] 藤井宏太[A], 松村央 [A,B]

量子力学において、粒子が異なる二つの経路を通る場合、周囲の環境に経路を識別する情報が伝わることで、量子干渉が弱まることが知られている。この現象はデコヒーレンスと呼ばれる。特に、量子電磁場や量子重力場との相互作用では、エネルギーが極めて小さい粒子（ソフト粒子）が無限個放射され得るため、通常の漸近状態を用いた計算では赤外発散が現れることがある。

先行研究 [1] では、量子電磁力学において、漸近状態に適切なソフト光子の雲を付随させる「ドレッシング」を考え、散乱振幅の赤外発散を取り除くという要請から、ドレッシングが満たすべき条件（Dress code）が導かれた。このような赤外発散の問題は量子重力においても生じることが知られており、重力におけるドレッシングについても研究が行われている [2]。

本研究では、二経路干渉系から放射されるソフト重力子に注目し、赤外発散の除去とは異なる観点から、重力における Dress code を考察する。具体的には、ソフト重力子が粒子の通った経路を識別する情報（which-path information）を保持することで生じるデコヒーレンスに着目する。二つの経路から生じる重力子の放射状態をエネルギーについて低エネルギー展開し、leading、subleading、subsubleading の各成分について、残余放射が経路情報を運ばないことを要請する。この要請から、それぞれの次数に対するドレッシング条件を導く。これにより、赤外発散の除去を目的として議論されてきた Dress code を、経路情報とデコヒーレンスという量子情報的な観点から、重力における高次の成分へと拡張する。

参考文献

[1] H. Hirai and S. Sugishita,“Dress code for infrared safe scattering in QED,”Prog. Theor. Exp. Phys. 2023, 053B04 (2023).

[2] J. Ware, R. Saotome and R. Akhoury,“Construction of an asymptotic S matrix for perturbative quantum gravity,” JHEP 10 (2013) 159.

A-7 6 次元 $su(n)$ ゲージ理論における非平坦背景を要求する orbifold 境界条件

九大理 [A], 九大基幹 [B] 牛島紬裕[A], 小島健太郎 [B]

余剰次元上のゲージ場の境界条件は、4 次元で残るゲージ対称性や許される真空構造を制約する。本研究では、orbifold コンパクト化を仮定した 6 次元時空 $M^4 \times T^2/\mathrm{Z}_3$ 上で、局所ゲージ代数を $su(n)$ とする純 Yang Mills 理論を考え、’t Hooft の twisted boundary conditions（TBC）を課す。Orbifold 上の TBC には、’t Hooft flux に加え、回転を含む同一視の整合条件にも中心位相が現れる。これらの位相の組合せに着目し、Cartan 型の座標依存遷移関数を用いて整合的な TBC を分類する。その一部について、平坦接続（純ゲージ）の存在を仮定すると遷移関数の整合条件に矛盾が生じることを示し、平坦接続を許さない境界条件の存在を明らかにする。

さらに、具体的な境界条件を固定した下で、一様な Cartan 磁場を持つ配位が古典エネルギーの大域最小となる例を取り上げる。その背景において低エネルギーに残るゲージ対称性や、質量スペクトルについても簡単に触れる。本講演では、$su(3)$ における一例を通じて、非平坦な古典真空の構成と 4 次元で残るゲージ対称性を議論する。

A-8 Non-Invertible Froggatt-Nielsen Symmetry

九大理 [A], 慶應大日吉物理 [B] 大塚啓[A], 横倉諒 [B]

本講演では、量子異常をもつフレーバー対称性を非可逆対称性として捉え直し、ディラック・ニュートリノ質量の起源に応用する枠組みを紹介する。具体的には、Froggatt-Nielsen（FN）対称性の Z_4 部分群と隠れた $U(1)_H$ ゲージ場との混合量子異常に着目し、位相的量子場理論を用いて、モノポールが切り離された低エネルギー極限で非可逆対称性を構成する。さらに、その紫外理論として隠れた $SU(2)_H$ ゲージ理論を考え、インスタントン効果による FN 対称性の非摂動的な破れを通じて、指数関数的に小さいニュートリノ湯川結合を生成する機構を提案する。この機構では、ニュートリノ質量の全体的な小ささをインスタントン効果が、世代間の階層を FN 電荷が担い、同じ電荷の割り当てによってクォークと荷電レプトンの湯川結合の階層も説明する。また FN 電荷と一般的な $\mathcal{O}(1)$ 係数のもとで、ニュートリノ質量の順階層が自然に得られることを示す。

A-9 8 次元非超対称ヘテロ弦の最大拡大点の分類

九大理 [A], 九大高等研究院 [B] 本田大和 [A], カイディジャスティン [A,B], 古賀勇一[B], リュウユエフェン [B]

超対称ヘテロ弦理論の T^2上のオービフォールドを考察することにより、8 次元におけるランクを保存する非超対称ヘテロ弦理論のゲージ対称性の最大拡大点を分類した。8 次元の超対称 $Narain$ 理論における最大拡大点を出発点とし、Kac の定理を用いて位数 2 の内部自己同型の候補を列挙した。そのうち、$Narain$ 格子上の整合的なシフトとして実現できるもののみを採用することで 1210 個の最大拡大点が得られた。そのうち 71 個はタキオンを含まず、さらに 25 個はタキオンもシフトセクターに由来する無質量スカラーも含まない。各最大拡大点について、ゲージ代数および低質量領域のスカラー・フェルミオンスペクトルを決定し、タキオンを含まない場合には 1 ループ宇宙項を評価した。さらに、シフトセクターに由来する無質量スカラーを含まない 25 個のケースについては、1 ループポテンシャルのヘッセ行列を計算し、精密化された $deSitter$ 沼地予想を検証した。