



Grant-in-Aid for Transformative Research Areas (A)

Extreme Universe

公募研究説明会 Dec.4, 2021

文部科学省科学研究費補助金

学術変革領域研究(A) 2021-2025年度

「極限宇宙の物理法則を創るー量子情報で拓く時空と物質の新しいパラダイム」

領域の概要説明

領域代表 高柳 匡 (京都大学基礎物理学研究所)

領域ホームページ <https://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~extremeuniverse/>

公募研究説明会のスケジュール

14:00-14:15 領域概要説明 (領域代表)

14:15-14:45 各計画研究概要 (各研究代表者)

14:45-14:55 公募研究の趣旨説明 (領域代表)

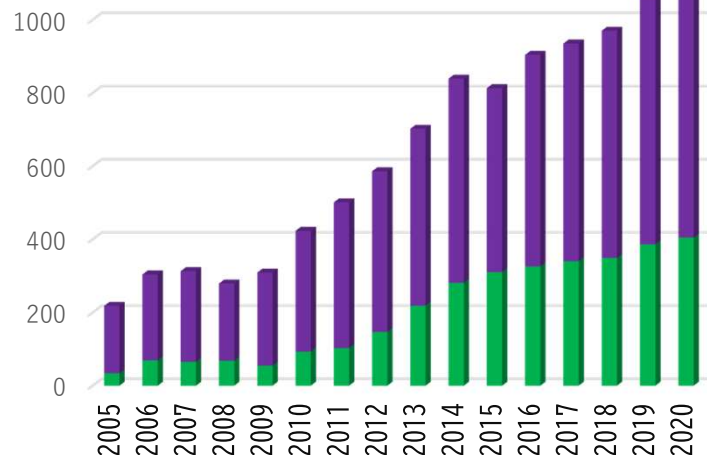
14:55-15:30 質問セッション

背景：量子情報を利用した物理学の新展開

最近、物理学において、「空間」「時間」「物質」という従来の描像を超えて、「**量子情報**」を自然界の基本的な構成要素とみなすことで革新的な成果が得られ始め、関連論文も急増している。

「**量子情報**」は、ミクロな世界の情報を意味し、量子計算や量子通信などの量子技術の基礎を与える。

アブストラクトにキーワード
entanglement (エンタングルメント)
を含むarXivプレプリント数



物性物理 (cond-mat) のプレプリント数

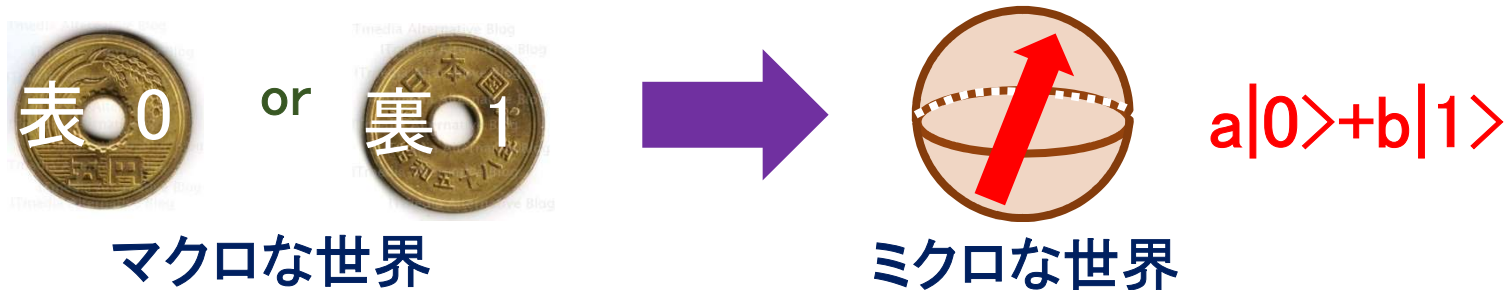
量子エンタングルメント
＝量子物質の骨格(幾何構造)

素粒子論 (hep-th) のプレプリント数

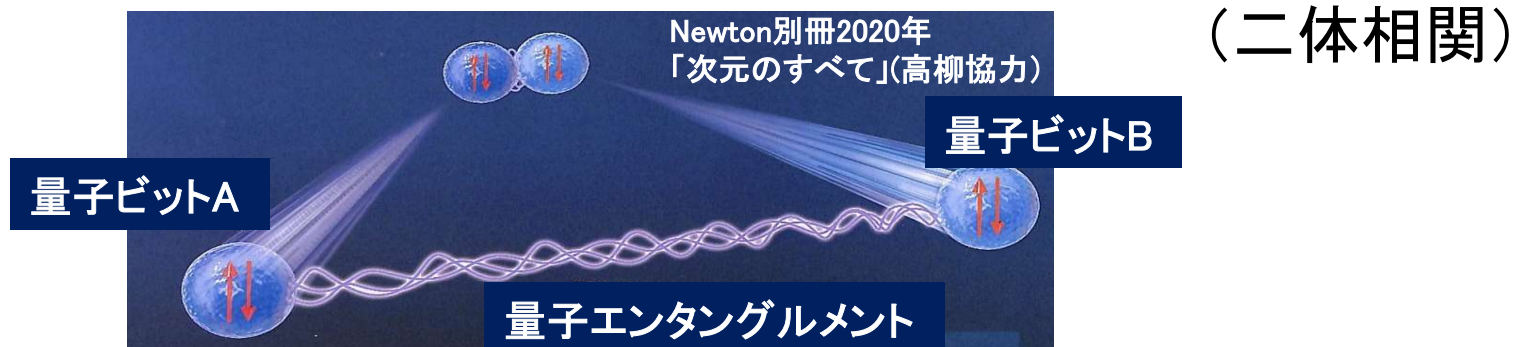
量子エンタングルメント
＝宇宙の骨格(幾何構造)

量子エンタングルメントとは？

量子ビット＝ミクロな世界の1ビット(電子スピン)



量子エンタングルメント(もつれ)＝量子ビット間の絡み合い

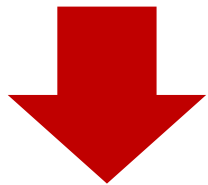


量子物質＝量子多体系＝量子エンタングルメントの集合体
→テンソルネットワーク

極限宇宙とは？

従来の物理学:「空間」「時間」「物質」の観点で自然法則を記述。

しかし、「量子性による揺らぎ」が大きくなる極限的状况では、従来の観点から理論を記述すると困難に直面してしまう。



時空の座標の値が揺らぎ、従来の幾何学が適用不可！
量子物質のとりうる自由度が増大し、数値解析が困難！

本領域ではこの極限的状况を「**極限宇宙**」と呼ぶ。

極限宇宙＝自然界における基本的な3つの極限。

①空間の極限 ②時間の極限 ③物質の極限

これらは「物理学の究極の問題」と言える。

極限宇宙の3つの問い

① 空間の極限 B班

[ブラックホール(BH)の量子論]

問い: BHの蒸発で、BH内部の情報
はどこに消えるのか?



量子通信

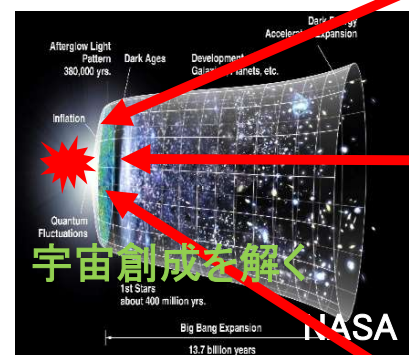
量子誤り
訂正符号

量子重力理論

② 時間の極限 C班

[宇宙創成のメカニズム]

問い: 宇宙はどのように
無から生まれたのか?



量子
もつれ

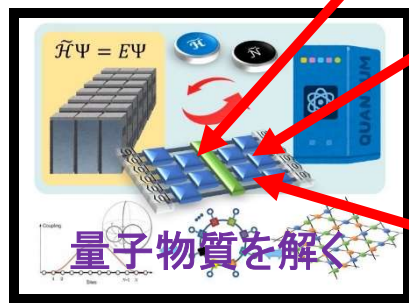
量子計算
複雑性

ゲージ重力対応

③ 物質の極限 D班

[量子物質のダイナミクス]

問い: 量子物質のダイナミクス
如何にすれば解けるか?



量子
計算機

例: 量子スピン液体、QCD物質

量子カオス

量子情報 A班の視点を用いて解き明かす!

極限宇宙とは？



対象のスケールは大きく異なるが、量子情報の視点に立つと
全て量子ビットの集合体として物理法則が統一的に理解できる！

極限宇宙の量子情報からの創発

「ゲージ重力対応(AdS/CFT)」で等価となる

Maldacena, Adv.Theor.Math.Phys.2(1998)231

場の量子論(量子物質,
特に量子臨界点→共形場理論CFT)

反ドジッター宇宙(AdS)
の重力理論

量子エンタングルメントの面積公式

[笠-高柳公式 Phys.Rev.Lett. 96(2006)181602]

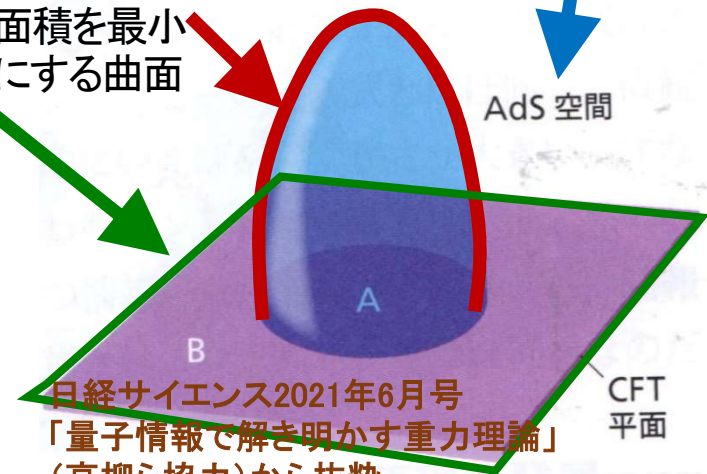
AB間の量子エンタングルメントの量
(エンタングルメント・エントロピー)

$$= \frac{1}{4G_N} \times [\text{極小曲面の面積}]$$

極小曲面

面積を最小
にする曲面

AdS 空間



宇宙は量子情報から創発する！ “It from Qubit”
量子的な幾何学は量子情報の量を用いて記述される！

量子物質から量子計算、そして宇宙・素粒子論へ

量子ビットの集積＝ 量子物質(量子多体系)の計算法 ＝宇宙の一種

観測に基づく量子計算
[森前(A01代表)著,2017]

テンソルネットワーク
[奥西(D02代表)らが専門]

反ドジッター宇宙
[高柳(領域・C01代表)、
飯塚(B01代表)らが専門]



本領域の9つの計画研究の構成



- 縦糸（従来の分野内連携[01,02,03]）と横糸（共通の研究目標に向けた、異分野連携[B,C,D]）の両方を絡めて分野融合促進。
この研究体制に量子情報班(A)が参加しサポート。

- クリーンで高い制御性を有する物性実験

冷却原子B02
人工量子物質



量子ホール系C02
1次元量子臨界物質CFT



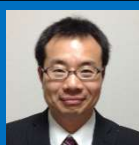
→基礎理論と相性が良い

総括班メンバー

本領域の現在の構成メンバー
計画研究(研究代表者9名+研究分担者33名)42名



A01代表 森前智行 [量子情報]
量子計算の検証(森前-Fitzsimonsプロトコル)



B01代表 飯塚則裕 [素粒子論]
量子BHを記述する飯塚-Polchinski模型の発見



B02代表 手塚真樹 [物性理論]
2次元重力を実現する冷却原子実験の初提案



B03代表 石橋明浩 [宇宙論]
高次元BHの安定性証明・剛性定理・エネルギー条件



C01・領域代表 高柳匡 [素粒子論]
笠-高柳公式・経路積分による複雑性の定量化



C02代表 遊佐剛 [物性実験]
世界初の分数量子ホール状態の実空間観測



C03代表 白水徹也 [宇宙論]
ブレーンワールド宇宙論の基礎方程式



D01代表 西岡辰磨 [素粒子論]
超対称レンニエントロピー・Extremal BH/CFT対応



D02代表 奥西巧一 [物性理論]
角転送行列法の発見・スピン系のウンルー効果



A01分担 中田芳史 [量子情報]
量子ランダムネスを効率的に生成する手法



B02分担 中島秀太 [物性実験]
トポロジカル量子ポンプ



C02分担 堀田昌寛 [量子情報]
量子エネルギーテレポーテーションの初提案



C03分担 泉圭介 [宇宙論]
宇宙論模型の因果構造解析・Black Di-Ring解



C03分担 小林努 [宇宙論]
最も一般的なインフレーション宇宙論の構築



D02分担 上田宏 [物性理論]
スピン液体相・文部科学大臣表彰若手科学者賞



D02分担 堀田知佐 [物性理論]
スピン液体相・文部科学大臣表彰若手科学者賞