大学院集中講義

講義名：物理学特別講義I

講師：兵藤哲雄（大阪大学核物理研究センター・教授）

タイトル：ハドロン散乱の対称性と量子エンタングルメント

日時・場所：

11月19日（水） 2，４、５限 ８号館３０４室

11月21日（金） 2，３、４限 １１号館３０１室

11月24日（月） 2，３限 ８号館３０４室

（11月24日の３限はセミナーです）

授業番号：物理学特別講義I 博士前期：R0203、博士後期：R0204

履修URL：https://forms.office.com/r/TsdKy4jZwa

履修申請締め切り：2025年11月11日

問い合わせ先：物理学専攻 本橋隼人 E-mail: motohashi@tmu.ac.jp

講義要旨：

量子エンタングルメントは、量子力学的な二粒子間に生じるミクロな相関であり、Bellの不等式を破るなど、古典的な相関とは本質的に異なる振る舞いを示す現象である。近年、この概念は量子情報理論の基礎として重要な役割を果たすだけでなく、素粒子物理から物性物理まで幅広い分野で応用され、急速に発展している。本講義では、まず量子エンタングルメントの基礎を概観した後、原子核・ハドロン物理における応用例として、ハドロン散乱におけるエンタングルメント抑制と、それにより現れる創発的対称性について解説する。

内容：

第１回　導入：核力、対称性、エンタングルメント

第２回　スピン1/2状態

第３回　2スピン系とエンタングルメントエントロピー

第４回　古典相関と量子相関

第５回　散乱理論、S行列、エンタングルメント・パワー

第６回　核力とエンタングルメント抑制

第７回　一般のスピン、フレーバーへの拡張

第８回　セミナー：エンタングルメント抑制とハドロン散乱

セミナー題目：エンタングルメント抑制、量子統計、スピン3/2バリオン散乱の対称性

要旨：本講演では、ハドロン散乱におけるエンタングルメント抑制（entanglement suppression）の概念と、その現象論的な帰結について議論する。エンタングルメント抑制は、ハドロン散乱のS行列をスピン空間における量子論理ゲートとして扱い、S行列によって生成されるスピン・エンタングルメントを最小化することによって創発的対称性を導出する枠組みであり、高エネルギー物理の領域で近年注目を集めている。実際に、核力におけるスピン・フレーバーSU(4)対称性や非相対論的共形対称性などの創発的対称性が、S行列のエンタングルメント・パワーを最小化する条件として理解できる[1]。特に、スピン・フレーバー対称性はS行列がIdentityゲートになる条件に、非相対論的共形対称性はSWAPゲートになる条件にそれぞれ対応している[2]。

我々は、このエンタングルメント抑制の考え方をスピン3/2を持つ10重項バリオンの散乱へと拡張し、S行列のエンタングルメント・パワーを計算して対応する創発的対称性を導出する[3]。スピン1/2の場合と同様に、エンタングルメント・パワーを最小化する条件から、スピン・フレーバー対称性や非相対論的共形不変性が現れることを示す。同一粒子の散乱の場合には、量子統計の制約によりエンタングルメント・パワーが完全にはゼロにならないが、これを対称／反対称ヒルベルト空間への射影測定として解釈し、射影された空間でのエンタングルメント・パワーの規格化を定義する。具体例として、ΩΩ散乱におけるスピンJ=0成分とJ=2成分の関係を、エンタングルメント抑制の観点から議論する。

[1] S. R. Beane, D. B. Kaplan, N. Klco and M. J. Savage, Phys. Rev. Lett. 122, 102001 (2019).
[2] I. Low and T. Mehen, Phys. Rev. D 104, 074014 (2021).
[3] T.R. Hu, K. Sone, F. K. Guo, T. Hyodo and I. Low, arXiv:2506.08960 [hep-ph].