

素粒子論研究室紹介

伊藤克司

<http://www.th.phys.titech.ac.jp/>

January 17, 2020

▶ 教員

伊藤克司 超弦理論、超対称ゲージ理論, 共形場理論

今村洋介 弦理論、M 理論とそれらを用いたゲージ理論の研究

綿引芳之 量子重力, 2 次元重力

▶ 研究員 2

▶ 大学院生 D 6, M 6

▶ 卒研生: 4+1

物質の究極の構成要素と基本原理の探求

- ▶ 超弦理論

素粒子の統一理論, 重力の量子論

- ▶ 超対称ゲージ理論

QCD (強い相互作用 の理論) と同様な性質を保ちながら, 数学的に豊富な構造をもつ

- ▶ 共形場理論, 可積分模型

超弦理論, ゲージ理論の数学的構造を研究する基本的な道具

この理論の間には色々な関係 (双対性) がある。

双対性の例: 電磁双対性

双対性と可積分系の手法を組み合わせる場の理論を研究する

- ▶ 1次元の広がりをもつ物体 (弦) でゲージ相互作用、重力相互作用を記述
- ▶ 開弦: ゲージ相互作用, 閉弦: 重力相互作用
- ▶ 超対称性 (ボソン $\leftrightarrow$ フェルミオン): 物質場と相互作用の統一
グルーオン $A_\mu \longleftrightarrow$ グルイーノ λ
スクォーク $\phi \longleftrightarrow$ クォーク ψ
- ▶ 10次元: 相互作用と時空の統一
相互作用や物質場の多様性を高次元時空の性質に帰着
- ▶ D ブレーン (開弦の境界となる高次元の物体)
ゲージ理論の構成

AdS/CFT 対応 (ゲージ・重力対応)

ゲージ理論と 重力理論 (超弦理論) が等価

$N = 4$ 超対称ゲージ理論 $\iff$ $AdS_5 \times S^5$ 上の IIB 型超弦理論
(Maldacena 1997)

- ▶ 4 次元 $\iff$ 10 次元
- ▶ ゲージ理論, 超弦理論の強結合領域の物理の理解
有限温度のゲージ理論とブラックホールの幾何学
演算子の異常次元と弦理論のソリトン解
Wilson ループ (= グルーオン散乱振幅) と弦の張る極小曲面の対応
- ▶ ハドロン物理 (QCD), 物性物理, 量子情報への応用

ゲージ理論, 弦理論の可積分性を使って AdS 時空内の極小曲面とグルーオン散乱振幅の間の対応を検証

Y. Hatsuda (立教大), Y. Satoh (筑波大), K. Sakai (明治学院大), J. Suzuki (静岡大) との共同研究

$\mathcal{N} = 2$ 超対称ゲージ理論

- ▶ ゲージ場 A_μ , 2 種類のフェルミオン λ_1, λ_2 , スカラー場 ϕ
- ▶ 低エネルギー有効理論の厳密解 (Seiberg-Witten 1994)
Riemann 面 (SW 曲線) 上の周期で決定される.

$\mathcal{N} = 2$ 超対称ゲージ理論と 2 次元共形場理論 (CFT) が等価

$N = 2$ 超対称ゲージ理論の分配関数 $\longleftrightarrow$ CFT の共形ブロック (AGT 対応)

$N = 2$ 超共形場理論のカイラル代数 $\longleftrightarrow$ 2 次元 CFT (4d/2d 対応)

- ▶ 量子 SW 曲線の WKB 解析を用いてこの対応を検証
Ito-Kanno-Okubo JHEP (2017) 065
Ito-Okubo Nucl.Phys. B934(2018)359
Ito-Shu JHEP 1708 (2017) 071

共形場理論, 可積分模型

2次元共形場理論 [Belavin-Polyakov-Zamolodchikov 1984]

- ▶ 共形不変性 (スケール変換, 2次元座標の等角写像の下で不変な) 場の理論
- ▶ 無限次元の対称性 (Virasoro 代数) を持つ
相関関数や分配関数が対称性から決定される。
- ▶ 2次元の統計模型 (例: Ising 模型) の臨界点近傍の物理を記述

▶ 共形摂動論

2次元共形場理論の可積分摂動パラメーターと物理的質量の間の関係を決定 (1パラメータの場合 Zamolodchikov, Fateev 1995, 2パラメータの場合は初)

Z. Bajnok, J. Balog, K. Ito, Y. Satoh, G. Z. Toth, Phys. Rev. Lett. 116 (2016) 181601

Dorey-Tateo 1999

▶ 常微分方程式 (ODE)

$$\left\{ -\frac{d^2}{dx^2} + \frac{\ell(\ell+1)}{x^2} + x^{2M} - E \right\} \psi(x) = 0$$

の複素平面における解の接続問題 (Stokes 現象)

▶ 6 頂点模型の Bethe 仮説方程式

$$\frac{Q_{\pm}(\omega^{-2}E_n, \ell)}{Q_{\pm}(\omega^2E_n, \ell)} = -\omega^{\pm(2\ell+1)}, \quad \omega = \exp(2\pi i/(2M+1))$$

$$\boxed{\text{Stokes 係数}} \iff \boxed{\text{Baxter's Q 関数}}$$

▶ 一般的な ODE/IM 対応の提案 (Langlands 双対)

$$\hat{\mathfrak{g}}^{\vee} \text{ affine Toda 方程式} \iff \hat{\mathfrak{g}} \text{ Bethe ansatz 方程式}$$

K. Ito, C. Locke, Nuclear Physics B885 (2014) 600, B896 (2015) 763

Resurgence と熱力学的 Bethe 仮説方程式

K. Ito, M. Marino, H. Shu, JHEP 1901 (2019) 228

- ▶ 量子論における摂動展開級数: 一般には漸近級数 (収束半径=0)
- ▶ Borel 再総和法: 非摂動効果と摂動級数の関係がわかる (resurgence) [Ecalte].
- ▶ 多項式型の potential を持つ Schrödinger 方程式の WKB 展開に適用 (Voros 1981)

$$\left\{ -\hbar^2 \frac{d^2}{dx^2} + x^{r+1} - \cdots - u_{r+1} \right\} \psi(x) = 0, \quad \psi(x) = \exp \left(\frac{i}{\hbar} \sum_{k=0}^{\infty} \hbar^k \int^x q_n(x) dx \right)$$

- ▶ Borel 最総和した WKB 周期の特異性
⇒ 熱力学的 Bethe 仮説 (TBA) 方程式 (Al. B. Zamolodchikov)
- ▶ 多項式型のポテンシャルのスペクトル問題を非摂動効果まで含めて計算する新しい手法を開発 (Voros の Riemann-Hilbert 問題の解)
- ▶ 4次元 $\mathcal{N} = 2$ ゲージ理論の量子 Seiberg-Witten 曲線への応用