

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	量子Seiberg-Witten周期とArgyres-Douglas理論の普遍性
Title(English)	Quantum Seiberg-Witten Curves and Universality in Argyres-Douglas Theories
著者(和文)	小泉咲
Author(English)	Saki Koizumi
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11874号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:伊藤 克司,今村 洋介,慈道 大介,山口 昌英,須山 輝明
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11874号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	物理学 物理学	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 (理学) Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名： Student's Name	小泉 咲		指導教員 (主)： 伊藤克司 Academic Supervisor(main)
			指導教員 (副)： 今村洋介 Academic Supervisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

場の量子論は摂動論を用いて調べられているが、その方法は強結合領域の理論に適用することが困難である。そこで強結合領域においては摂動論に代わる方法が必要となる。N=2 超対称ゲージ理論の場合は、サイバーク・ウィッテン(SW)理論やネクラソフの局所化の方法を用いて、理論を厳密に解くことができることが知られている。SW 理論では S 双対性により弱結合領域と強結合領域は関係づけられている。ネクラソフの局所化の方法は、時空に Ω 背景時空と呼ばれるトーラス作用を導入することにより分配関数を厳密に計算する方法である。しかし局所化の方法は、今のところ弱結合領域でしか使うことができないという問題がある。そこで、本論文の目的は、強結合領域における Ω 背景時空の効果を調べることである。また、繰り込み群のフローの固定点としても知られている共形場理論については、理論の演算子の種類と OPE 係数を決めることで特徴づけることができる。そこで本研究では、SW 理論を用いて特徴づけることができる強結合領域の共形場理論として知られている Argyres-Douglas(AD)理論について調べた。 そこで、本論文ではまず第 2 章では、N=2 超対称ゲージ理論とその低エネルギー有効理論について説明した。まず N=2 超対称代数、N=2 超対称ゲージ理論のラグランジアン、クーロンブランチとその上の対称性について説明した。その後、低エネルギー領域における対応する量子論について述べた。超対称量子色力学の漸近自由性から、低エネルギースケールでは摂動論を使うことができないため、低エネルギースケールでは低エネルギー有効理論で量子論を決める必要があることを説明した。 第 3 章では、SW 理論を $SU(2)$ 超ヤン=ミルズ理論の場合について説明した。まず、真空のモジュライ空間上の $SL(2, Z)$ バンドルとその幾何学的構造について説明した。またモジュライ空間の計量の正定値性から、結合定数がグローバルなモジュライ空間上の定数としては定義できないことを説明した。すると、結合定数が発散することに相当するモジュライ空間上の点が存在し、それをモジュライ空間上の特異点と呼ぶ。特異点の起源は、新たな無質量粒子がモジュライ空間上に現れることである。N=2 超対称性の代数から、そのような無質量粒子は電荷と磁荷を持つダイオンであり、さらに BPS 粒子である。特異点の周りでは、$SL(2, Z)$ バンドルの切断にモノドロミーが存在することに対応する。さらにモジュライ空間の対称性から、ミニマルな仮定では、無限遠と、モジュライ空間の有限領域に 2 つの特異点が存在するものとなる。低エネルギー有効作用は、$SL(2, Z)$ バンドルを決定し、結合定数をモジュライ空間上の切断として具体的に与えることで、厳密に与えることができる。SW 理論は、SW 曲線と呼ばれるリーマン面 (トーラス) と SW 微分と呼ばれるリーマン面上の 1 形式のことであり、それらにより $SL(2, Z)$ バンドルと結合定数を厳密に与えることができる。その時、SW 曲線 (トーラス) のモジュラー変換は有効作用の双対変換に相当し、トーラスのモジュライパラメータは結合定数に相当する。同様に 4 章では、その他の超対称量子色力学の場合に SW 理論を説明した。 第 5 章では、AD 理論を説明した。AD 理論はモジュライ空間の mutually non-local な特異点が一致した点 (超共形固定点) に対応した理論として与えられる。そのため AD 理論は強結合領域の理論である。まず $SU(3)$ ヤン=ミルズ理論の場合に AD 理論を説明した。さらに、AD 理論の演算子を決めるために、超共形固定点における SW 曲線の変形を考えた (スケーリング極限)。同様にして、より一般の超対称量子色力学の場合に AD 理論をスケーリング極限により特徴付けた。最後に、AD 理論の普遍性をそれらのスケーリング極限における SW 曲線を比較することで調べた。 第 6 章では、量子 SW 曲線について調べた。量子 SW 曲線は、SW 曲線の量子化により与えられる。弱結合領域では量子 SW 曲線と局所化の方法で計算される低エネルギー有効作用は一致することが知られている。そこで、量子 SW 曲線の方法を強結合領域の理論として知られている AD 理論に適用し、AD 理論の量子 SW 曲線について調べた。これは強結合領域に局所化の方法を拡張することに役立つ。AD 理論の場合の SW 曲線の量子化の正統性を確かめるため、AD 理論の SW 曲線の量子化が量子色力学の SW 曲線のスケーリング極限と矛盾しないことと、AD 理論の SW 曲線の量子化が AD 理論の普遍性を保つことを確かめた。最後にまとめと付録を書いた。付録では超対称性のノーテーション、SW 曲線の変数変換、量子 SW 曲線の計算を具体的に説明した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨
THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	物理学 物理学	系 コース
学生氏名： Student's Name	小泉 咲	

申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 (理学) Doctor of
指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	伊藤克司
指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	今村洋介

要旨 (英文 300 語程度)
Thesis Summary (approx.300 English Words)

The low-energy effective Lagrangian of four-dimensional N=2 supersymmetric gauge theory is characterized by the Seiberg-Witten (SW) curve. We can introduce the Omega background to define the partition function in the weak coupling region. The SW curve is deformed in the Nekrasov-Shatashvili (NS) limit of the Omega background, which is called the quantum SW curve. We can calculate the quantum SW periods from the quantum SW curve in the strong coupling region, which determines the low energy effective action in the Omega background. In this thesis, we studied the quantum SW curves of Argyres-Douglas (AD) theories, which are realized at the superconformal fixed point in the moduli space. In chapter 2, we explain N=2 supersymmetric gauge theories and the low energy effective action. In chapter 3 and chapter 4, we review details of the SW theory. We construct a vector bundle on the moduli space, which define the low energy effective action. This bundle is determined as the SW curve and the SW differential. In chapter 5, we explain the superconformal point where mutually non-local massless BPS particles appear. We introduce the scaling limit to define the SW curve around the superconformal point, which define the SW curves of AD theories. In chapter 6, we consider the quantum SW curves of SQCDs and AD theories. The quantum SW curve is a differential equation. Its WKB solution determines the quantum SW period. In the weak coupling region, the quantum SW period coincides with that obtained by the localization method in the NS limit of the Omega background. We constructed the quantum SW curve of AD theories associated to N=2 SQCDs in the strong coupling region. We confirm the consistency condition of the quantum SW curve of AD theories arising from the universality.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).