

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	開放量子系におけるパリティ・時間対称性由来 の散逸連続時間結晶
Title(English)	Dissipative continuous time crystals originating from parity-time symmetry in open quantum systems
著者(和文)	中西優馬
Author(English)	Yuma Nakanishi
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12640号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:笹本 智弘,村上 修一,西田 祐介,石塚 大晃,納富 雅也
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12640号, Conferred date:2024/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	中西 優馬	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	笹本 智弘	教授	納富 雅也	教授
	審査員	村上 修一	教授		
		西田 祐介	准教授		
		石塚 大晃	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Dissipative continuous time crystals originating from parity-time symmetry in open quantum systems」と題し、開放量子系における時間結晶の一種である散逸連続時間結晶の実現が Parity-Time (PT) 対称性と深く関係していることを示した論文であり、6 章よりなる。

第 1 章「Introduction and results」では、まず時間結晶に関する基本的な事実が説明されており、2012 年に F. Wilczek により提唱されて以来関心を集めていること、平衡系や定常状態では存在できないことが示されていること、非平衡系においてはいくつかの種類の時間結晶が考えられているが、本論文では開放量子系において連続時間並進対称性が破れる散逸連続時間結晶について議論することが明確にされている。続いて開放量子系の定式化として本論文では GKSL (Gorini-Kossakowski-Sudarshan-Lindblad) 方程式と呼ばれる量子マスター方程式が採用されることが言及されたのち、その基本的な性質が説明されている。次に Parity-Time (PT) 対称性の破れに関する転移や、非相反相転移とよばれる非平衡相転移の基本事項についての解説がなされている。さらに本論文では、(1) GKSL 方程式で記述される系における PT 対称性の破れがおこるモデルの解析、(2) 散逸連続時間結晶と散逸系の PT 対称性の破れの関連の指摘、(3) PT 対称性を持つ多くの散逸系が非相反相転移を示し、散逸連続時間結晶となる、という 3 つの主要な結果が得られていることが説明されている。

第 2 章「Time crystals in closed and open quantum systems」では、まず時間結晶の定義について確認されたのち、平衡系や基底状態では存在できないことが詳しく説明されている。さらに、非平衡系における時間結晶をどのように定義すべきかについての議論が与えられたのち、Driven Dicke モデルとよばれる系において見られる散逸連続時間結晶の基本性質について説明されている。また、散逸連続時間結晶が現れるいくつかのメカニズムが紹介されている。

第 3 章「Lindbladian PT phase transitions」では、GKSL 方程式で記述される系の PT 対称性が議論されたのち、その対称性を満たすあるモデルにおける固有値分布や定常モードの性質を第三量子化と呼ばれる手法を用いて詳細に調査することで、非エルミート系の PT 相転移と対応する相転移が存在することが示されている。

第 4 章「Dissipative continuous time crystals originating from parity-time symmetry」では、Driven Dicke モデルなどのモデル系において散逸連続時間結晶相が現れることは知られていたがそのメカニズムはよくわかっていなかったこと、本論文で散逸系に対する PT 相とみなせることが

わかったことが説明されている。また、1 集団スピンに対するあるクラスのモデルに対し、摂動解析を用いることにより、ゲインとロスが釣り合い、散逸系に対する PT 対称性が存在する場合にのみ散逸連続時間結晶が現れることを示している。

第 5 章「Boundary time crystals and Lindbladian PT phase transitions from the viewpoint of Schwinger bosons: The emergence of CEPs」では、PT 対称性を持つかなり一般的なクラスの集団スピンモデルに対し、シュウィンガーボソン変換を使うことで、(非線形)PT 対称性との関連がつき、その対称性の破れにより相転移が起き、散逸連続時間結晶が現れることが示されている。さらに連続相転移の場合には転移点が臨界例外点であることも示されている。

第 6 章「Summary and Future outlook」では、まとめと展望が与えられている。

以上をまとめると本論文では、これまで個別のモデルに対して議論され、実現のメカニズムにも不明な点の多かった散逸連続時間結晶が、散逸系に対する PT 対称性という統一的視点から検討され、その関連性が深く議論されている。ここでの議論および結論は今後様々な一般化が可能となることが期待され、関連分野への波及効果が大きい。このように量子開放系における連続時間結晶に対する一般的な知見を見出した本論文は、理学の発展に大いに資するものと判定され、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値があると認められる。