

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 久木田 真吾

論 文 題 目 特異摂動理論から見た量子開放系の摂動的手法

論文審査担当者

主査 名古屋大学大学院理学研究科 准教授 理学博士 南部 保貞

委員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 理学博士 野尻 伸一

委員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 博士 (理学) 宮崎 州正

委員 名古屋大学基礎理論研究センター

准教授 博士 (理学) 野中 千穂

委員 名古屋大学大学院理学研究科 准教授 博士 (理学) 竹内 努

論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

熱浴などの環境系（外部系）からの擾乱を受けている量子系を量子開放系とよぶ。量子開放系の時間発展を調べることは、量子情報、量子通信、量子化学などへの応用の見地からも、非常に重要である。このような系のダイナミクスを微視的な立場から追う方法として、「縮約された力学」という方法がある。この方法を用いると、量子開放系の時間発展は孤立系とは異なってユニタリ発展をせず、散逸やデコヒーレンスなどの効果が表れる。実際の系を扱う場合には、いくつかの近似を課して対象系の発展方程式を簡単にすることが行われる。

よく行われる近似は環境系と対象系の相互作用が弱いとする仮定である。これを課すことで、全系のユニタリ発展、さらには対象系に対する縮約された力学を摂動的に解くことが可能になる。また、初期状態としては対象系と環境系の間に相関がない状態を通常仮定する。以上の仮定の下で得られた対象系のダイナミクスに対する摂動的方程式を、(摂動的) 量子マスター方程式という。しかしながら、この導出で用いる初期の無相関状態の仮定に対する物理的な正当化は十分になされていない。また、導出された量子マスター方程式は、非マルコフ型の場合には一般に微積分方程式あるいは係数が時間に依存する微分方程式の形をしており、その解析は容易ではない。申請者は、摂動パラメータを含む微分方程式の体系的近似解法である「繰り込み群の方法」にもとづき、量子開放系のダイナミクスを記述する方程式を構築するための理論研究を行った。

申請者はまず、全系のユニタリ発展を与える Liouville von Neumann 方程式に対して、相互作用が弱いと仮定した下での解の摂動展開を行い、このときに生じる非物理的なふるまいである「永年項」を繰り込み群の方法によって取り除くことで、開放系の厳密なダイナミクスを大域的に近似する解を記述する方程式を与えた。この方程式の導出過程で、量子マスター方程式の導出で要求された初期状態に対する無相関状態の仮定が、相関関数が摂動パラメータで決まる時間スケールよりも速やかに消えてなくなること（環境系が定常的かつ十分な「混合性」を持つこと）の帰結として正当化されることを明らかにした。さらにこの混合性は、環境系を含めた全系の時間発展が、量子開放系の動的自由度のみで支配されるための十分条件を与えていることを示した。

また申請者は、この方法の下では開放系のダイナミクスを計算する際に必要となるのは、時間に依存しない係数を持つ微分方程式を解くことに対応することを見出した。これは量子マスター方程式の一般的な形である微積分方程式や、係数が時間依存する微分方程式よりも多くの場合で解析が容易である。その具体的な例として、厳密に解けるモデルを用いて本研究で得られた手法の有用性を示した。

申請者の研究は、量子開放系のダイナミクスを記述する方程式を、通常量子マスター方程式の導出とは別の観点から構築し、その有用性を明らかにした点で高く評価できる。参考論文は、時間粗視化と繰り込み群の手法を用いてマルコフ型マスター方程式の導出を行った価値あるものである。以上の理由により、申請者は博士（理学）の学位を与えられるに相応しいと認められる。