

研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2006～2009
課題番号：18540292
研究課題名（和文） 量子ダイナミクスと階層性

研究課題名（英文） Quantum dynamics and hierarchy

研究代表者

中里 弘道 (NAKAZATO, Hiromichi)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号：00180266

研究分野：数物系科学，量子基礎論，素粒子理論
科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理
キーワード：量子ダイナミクス，マスター方程式，デコヒーレンス，階層性

1. 研究計画の概要

力学系の記述には，その性格を反映した適切な理論体系が存在しているように思われる．我々の対象が巨視的な力学系から微視的力学系へと移行していった歴史的経緯を反映して基本的理論体系も精密化していったが，その移行は必ずしも滑らかなものではなくある種の不連続性を持って前者を後者が塗り替えていった感がある．一方で，それぞれの理論体系の有効性は，限られた物理系においては依然として保持されており，力学系の階層性はそこで有効な理論体系に反映されているとみることが出来る．この研究の全体構想はこのような階層性の理解を，個々の具体的物理過程でのダイナミクスをより実際の状況に即した形で考察し，その中から異なる階層間を結びつける鍵となる概念を抽出しようというものであるが，中でも環境系の影響下での微視系のダイナミクスならびに場の量子論と量子力学といった側面を通しての理解を中心的課題としている．

2. 研究の進捗状況

個々の物理系のダイナミクスの解析を通して，これまでに以下の成果を得ている．

(1) 参照量子系に測定を繰り返すことを通して，参照系と結合した対象量子系の純化を行おうという状態純化の新しい手法において，これらの系を取り巻く環境系からの影響を Lindblad 型マスター方程式の形で取り入れて評価し，このような状況下での状態純化の有効性を吟味した．特に純粋度という指標で見た場合には，散逸状況下においても純粋状態に近い状態が抽出できる可能性のあるこ

とが分かったほか，抽出される状態そのものについてもその漸近的振る舞いを評価した．

(2) 散逸的ダイナミクスを記述する代表的なマスター方程式に関して，初期相関という観点からその有効性を再吟味するとともに，Lindblad 型マスター方程式の演算子形式の解法を新たに提案した．

(3) 適切な初期状態が準備された場合の 1 次元あるいは 2 次元 flux qubit 配列系における量子絡み合い状態の生成手順，ならびにその転送機構を検討し，効率的な転送手順を考案した．

(4) 参照 (qubit) 系の対象 (2qubit) 系による 3 次元空間での散乱と測定操作によって，(適切な初期状態から出発して) 対象系に量子絡み合い状態が生成できること，ならびにその機構を明らかにした．この際，繰り込み操作を施すことで散乱の高次の効果が全てきちんと取り込めることも明らかになった．

(5) 縦型の積層量子ドット系における量子状態再構築法 (トモグラフィ) を，端点の量子ドットの測定と各量子ドット (内電子スピン) に対する回転操作を組み合わせることで実現する方法を構築した．

(6) トンネル現象を量子多体問題として記述する方法として用いられることの多い transfer Hamiltonian の枠組みと，通常の量子力学的散乱問題としての定式化との関係を明らかにすることを旨とし，まず前者の理論的枠組みの再吟味に着手した．

3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している。

<理由>

個々の量子系のダイナミクスの解析は、問題意識を共通にする、主に海外の研究協力者及び彼らのグループとの共同研究の形を通して、大変効果的に推移している。一方で、本研究課題の最終目標に掲げた理論体系の階層性の理解にはまだまだ克服しなければならない課題が残されていると認識している。

4. 今後の研究の推進方策

(1) これまでの成果と実績からして、今後も海外の協力研究者及びそのグループとの共同研究を通して、個々の量子系のダイナミクスに関する解析は着実に進展させられるものと考えている。

(2) 特に理論体系の階層性の理解に関しては、既に一部着手している課題を通して取り組む予定である。すなわち、トンネル現象を量子多体問題として記述する方法として用いられることの多い transfer Hamiltonian の枠組みと、通常の量子力学的散乱問題としての定式化との関係を、特に演算子の自己共役性の保持と適切な完全系の選択という観点から、検討を進めていきたい。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 16 件)

“State tomography of a chain of qubits embedded in a spin field-effect transistor via repeated spin-blockade measurements on the edge qubit,” K. Yuasa, K. Okano, H. Nakazato, S. Kashiwada and K. Yoh, Physical Review B 79 (2009) 075318 (6 pages) 査読有

“Estimation of the repeatedly projected reduced density matrix under decoherence,” H. Nakazato, K. Yuasa, B. Militello and A. Messina, Physical Review A 77 (2008) 042114 (12 pages) 査読有

“Diffusion and transfer of entanglement in an array of inductively coupled flux qubits,” R. Migliore, K. Yuasa, M. Guccione, H. Nakazato and A. Messina, Physical Review B 76 (2007) 052501 (4 pages) 査読有

“On the assumption of initial factorization in the master equation for

weakly coupled systems I: General framework,” S. Tasaki, K. Yuasa, P. Facchi, G. Kimura, H. Nakazato, I. Ohba and S. Pascazio, Annals of Physics 322 (2007) 631-656 査読有

“Resonant scattering can enhance the degree of entanglement,” K. Yuasa and H. Nakazato, Journal of Physics A 40 (2007) 297-308 査読有

“Solution of the Lindblad equation in the Kraus representation,” H. Nakazato, Y. Hida, K. Yuasa, B. Militello, A. Napoli and A. Messina, Physical Review A 74 (2006) 062113 (8 pages) 査読有

“Generation of multipartite entangled states in Josephson architectures,” R. Migliore, K. Yuasa, H. Nakazato and A. Messina, Physical Review B 74 (2006) 104503 (9 pages) 査読有

[学会発表](計 3 件)

肥田雄一郎, 三次元散乱問題として捉えたエンタングルメント生成, 日本物理学会第 62 回年次大会, 2007/09/23, 北海道大学

肥田雄一郎, マスター方程式を演算子形式で解く方法, 日本物理学会 2007 年春季大会, 2007/03/18, 鹿児島大学

肥田雄一郎, 媒介系を用いたエンタングルメント生成におけるデコヒーレンスの影響, 日本物理学会 2006 年秋季大会, 2006/09/25, 千葉大学

[その他]

WEB ページ

<http://www.hep.phys.waseda.ac.jp/index-j.html>

