附表6：

2023年度海南省科学技术奖提名公示内容

提名奖项：自然科学奖（公示7个工作日）

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 量子拉比模型的解析解与新奇量子效应 |
| 提名奖项/等级 | 自然科学奖一等奖 |
| 提名单位/提名专家 | 海南师范大学 |
| 提名意见 | 量子拉比模型是刻画光与物质相互作用的最简单的模型，在凝聚态物理、量子光学、原子与分子物理等领域有广泛的应用。该项目聚焦于如何精确地理解量子拉比模型以及相关模型本身蕴含的物理性质这一个科学问题，发展了一套简捷而有效的解析方法，系统地构建了这些重要物理模型的精确解析解，揭示了它们的能谱独特特性以及新奇量子效应。阐明和澄清了当前研究中的一些重要基础科学问题，包括精确解析解的完整性，确定本征能谱条件的充分性，奇异能谱与特定参数条件下精确解析解的关系，奇异能谱和能级简并的关系以及精确可解模型的构建与求解等。利用获得的精确结果解析地论证了一些新奇量子效应，例如基态简并与量子相变，能级交叉的破坏与恢复，量子自囚禁效应与锁相等。该项目研究具有系统性和新颖性，研究成果得到了国内外同行的广泛重视和高度评价。8篇代表性论文累计他引376次，最高单篇他引109次。该研究成果符合申报要求，特提名该项目申请2023年度海南省自然科学奖一等奖。 |
| **项目简介** | 本项目聚焦于如何精确理解量子拉比模型以及相关模型的物理性质这个基础科学问题来开展研究。 1.系统地研究了量子拉比模型以及相关模型，获得了本征态和本征能量的精确解析解，并揭示了其独特的能谱性质。) 采用和发展了一套有效的级数展开的解析方法，简捷而系统地构建了量子拉比模型、非对称量子模型、各向异性量子拉比模型、两光子拉比模型以及两模拉比模型等重要物理模型本征态的完整精确解析解，并利用解析解得到了确定本征能谱的条件。严格地证明，这些条件是确定本征能谱的充分条件。2）发现，这些条件的零点给出本征能谱的非简并部分（寻常能谱），而依赖模型内在的对称性，它们的奇点给出本征能谱的简并部分或者非简并部分，这些与奇点相联系的能谱被称为奇异能谱，只有在系统参数满足某些特定的条件下才出现。简并奇异能谱具有两重简并，对应能级交叉点。3）在各向异性的量子拉比模型中，发现，当旋波项和反旋波项的比例参数满足特定的参数条件，简并点也会出现在基态上，并且纠缠熵在简并点存在跳变行为，出现量子相变。3）发现，非对称能量偏压项的引入会打破内在的对称性，奇异能级交叉转变为能级免交叉。但是，当能量偏压等于光场能量的整数倍时，奇异能级交叉再次出现。因此，调节相互作用耦合参数，奇异能级出现能级交叉破坏与恢复。4）发现，要求级数展开截断为一个有限多项式就可以简便而系统地得到奇异能级存在的特定参数条件。所以，精确多项式解描述奇异能级。 2.系统地研究了单频周期驱动拉比模型以及相关模型，获得这些模型的精确解析解，并分析了这些解析解所描述的物理性质。1）发现，广泛研究的单频周期驱动拉比模型是精确可解模型。获得了单频周期驱动拉比模型的精确解析解,并构建了一个周期内的精确时间演化算符—Floquet算符，得到了确定Floquet准能谱的精确物理条件。2）发展了一套有效的方法构建了一系列精确可解的含时驱动拉比模型，解析的论证了一些有趣的物理现象。3）讨论了单频周期驱动非线性拉比模型，发现，在一些特定的参数条件下，参数周期调制与非线性会达到一种细致的平衡，出现一种所谓的几何共振。在这种平衡共振条件下，可以得到精确解析解。发现，利用精确可以解析地论证量子自囚禁效应的相干控制和锁相效应。本项目研究成果具有系统性和新颖性，解决了部分重要基础科学问题，包括解析解的完整性问题，确定本征能谱条件的充分性问题，奇异能级与能级简并的对应关系问题以及精确可解模型的构建与求解问题等。研究成果得到了国内外同行的广泛重视，在Reviews of Modern Physics，Physical Review Letters，Physical Review A，Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical等期刊上被正面评价。 8篇代表性论文被他引376次，最高单篇他引109次。 |
| **提名书****相关内容** | 1. Qiong-Tao Xie, Shuai Cui, Jun-Peng Cao, Luigi Amico, and Heng Fan, Anisotropic Rabi model, Physical Review X 4, 021046 (2014). 2. Qiongtao Xie, Honghua Zhong, Murray T Batchelor, and Chaohong Lee,The quantum Rabi model: solution and dynamics，Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical 50,113001 (2017).3.Honghua Zhong, Qiongtao Xie, Murray T Batchelor, and Chaohong Lee, Analytical eigenstates for the quantum Rabi model, Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical 46,415302 (2013).4. Honghua Zhong, Qiongtao Xie , Xiwen Guan , Murray T Batchelor, Kelin Gao , and Chaohong Lee, Analytical energy spectrum for hybrid mechanical systems，Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical 47, 04530 (2014). 5. Qiongtao Xie and Wenhua Hai，Analytical results for a monochromatically driven two-level system，Physical Review A 82, 032117 (2010).6. Wenhua Hai, Kuo Hai, and Qiong Chen, Transparent control of an exactly solvable two-level system via combined modulations, Physical Review A 87, 023403 (2013).7. Qiongtao Xie, Nonlinear Floquet solutions of two periodically driven Bose-Einstein condensates, Physical Review A 76，043622 (2007).8. Qiongtao Xie and Wenhua Hai, Nonlinear Floquet states and quasienergies of a Bose-Einstein condensate in a driven double-well potential, Physical Review A 80, 053603 (2009). |
| **主要完成人** | 谢琼涛，排名1，教授，海南师范大学；钟宏华，排名2，教授，中南林业科技大学；李朝红，排名3，教授，深圳大学；海文华，排名4，教授，湖南师范大学。 |
| **主要完成单位** | 1.海南师范大学；2.中山大学；3.湖南师范大学；4.吉首大学。 |

说明：国际科学技术合作奖可不用公示，其余奖项必须公示**至少7个工作日**