**项目名称：**量子纠缠在量子信息中的应用及动力学操控研究

**奖种：**山东省自然科学奖

**推荐单位：**山东省教育厅

**项目简介：**

以量子纠缠为核心资源的量子信息技术在确保通信安全和提高计算速度方面可以突破经典信息技术的瓶颈，实现一些经典手段无法完成的任务。由于实际量子系统是开放系统，不可避免地受到外部环境的影响，在对纠缠的子系统进行空间分配与操作的过程中，系统的纠缠度随时间快速衰减，甚至可以突然消失。因此，环境噪声的影响是阻碍量子信息技术发展的关键因素之一，对系统纠缠动力学性质的认识与操控一直是量子信息领域的研究热点。本项目围绕这一学术界关注的核心问题，系统研究了量子纠缠在量子信息中的应用以及在不同环境下对纠缠系统的动力学操控。具体研究内容和科学发现点如下：

1．**利用弱测量和量子反转测量对纠缠的保护与操控。**研究了如何联合利用弱测量和量子反转测量对存储在同一环境及与独立环境作用的二体纠缠进行操控和保护的方案。对于纠缠系统处在同一环境下的情形，提出了两种方案来操纵系统的纠缠，分别能够得到系统的最大纠缠以及恢复系统的初始纠缠；对于纠缠系统处在独立环境下的情形，证实了所提方案为最优方案，对Kim等发表在Nature Physics, 2012, 8: 117上的实验工作进行了改进。

**2.量子纠缠在各种实际环境模型中的动力学性质。**

研究了具有广泛用途的多体纠缠态在局域退相干环境下的动力学，发现了具有更强的抵抗环境解纠缠能力的纠缠形式，证实了局域幺正操作可以提高纠缠在退相干环境中的动力学稳健性；研究了系统与环境初始关联导致的不同纠缠动力学行为；利用对整个系统的任意二体分割与对二体纠缠的negativity度量，提出了一种对多量子比特系统的纠缠度量方案，研究了非马尔科夫环境的记忆效应对纠缠的恢复作用，揭示了Greenberger-Horne-Zeilinger (GHZ) 型和W型纠缠在演化中的不同动力学行为。

**3. 多体真正纠缠态的构建及其在耗散环境下的应用。**构建了一种具有全新性质的能够进行控制的量子隐形传输的多体真正纠缠态，从理论上证实这是一种新的多体纠缠形式，发展了对多体纠缠构建与应用相结合的方法，拓展了对多体纠缠的研究方式；提出了一种利用多体纠缠和纠缠交换的量子安全直接通信方案，实现了多个使用者在一套装置中同时直接交换各自秘密信息的目的；研究了实际耗散环境对量子隐形传态的影响，证实纠缠的突然消失会使量子隐形传态的平均保真度突然降到经典手段所能达到的最优值，而环境的记忆效应会使保真度一定程度上得到恢复。

完成人情况表(1)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 夏云杰 | 排名 | 1 | 技术职称 | 教授 |
| 工作单位 | 曲阜师范大学 | | | | |
| 完成单位 | 曲阜师范大学 | | | | |
| 曾获省级以上科技奖励情况 | 无 | | | | |
| 主要学术贡献 | 该项目的负责人，综合规划并具体组织项目的研究工作。对“重要科学发现”中所列内容均做出了创造性贡献，是这八篇代表性论文的作者，  在该研究中的工作量占本人工作量的80%以上。提出了利用弱侧两和量子反转测量对量子纠缠的操控方案(对应代表论文1，2)，研究分析了噪声环境下多体纠缠的动力学性质(对应代表论文3,4,5)，提出了几种量子通信方案并研究了这些方案在耗散环境下的实际操作效果(对应代表论文6，7，8)。 | | | | |

完成人情况表(2)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 满忠晓 | 排名 | 2 | 技术职称 | 副教授 |
| 工作单位 | 曲阜师范大学 | | | | |
| 完成单位 | 曲阜师范大学 | | | | |
| 曾获省级以上科技奖励情况 | 无 | | | | |
| 主要学术贡献 | 对“重要科学发现”中所列内容均做出了创造性贡献，是代表性论文1-4,6-8的作者，在该研究中的工作量占本人工作量的80%以上。具体研究了利用弱侧两和量子反转测量对量子纠缠的操控(对应代表论文1，2)；推导了GHZ 型纠缠态在局域噪声信道下的动力学演化并进行了数值模拟，提出了多量子比特纠缠的度量方案 (对应代表论文3,4)；推导了构建奇数体真正纠缠态的理论并作了具体的定量计算，提出了量子直接通信方案并研究了在耗散环境下的量子隐形传输(对应代表论文6-8)。 | | | | |

完成人情况表(3)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 张英杰 | 排名 | 3 | 技术职称 | 副教授 |
| 工作单位 | 曲阜师范大学 | | | | |
| 完成单位 | 曲阜师范大学 | | | | |
| 曾获省级以上科技奖励情况 | 无 | | | | |
| 主要学术贡献 | 对“重要科学发现”第二项内容做出了创造性贡献，是第5篇代表性论文的作者，在该研究中的工作量占本人工作量的50%以上。具体研究  了系统-环境初始关联对开放系统纠缠动力学的影响，进行了理论推导与数值模拟。 | | | | |

**代表性论文目录**

[1] Manipulating entanglement of two qubits in a common environment by means of weak measurements and quantum measurement reversals，

Zhong-Xiao Man, Yun-Jie Xia, and Nguyen Ba An, Physical Review A, **86**, 012325 (2012)

[2] Enhancing entanglement of two qubits undergoing independent decoherences

by local pre- and postmeasurements，

Zhong-Xiao Man, Yun-Jie Xia, Nguyen Ba An, Physical Review A, **86**, 052322 (2012).

[3] Entanglement measure and dynamics of multiqubit systems: non-Markovian versus Markovian and generalized monogamy relations，

Zhong-Xiao Man, **Yun-Jie Xia**, and Nguyen Ba An, New Journal of Physics**12,** 033020 (2010)

[4] Robustness of multiqubit entanglement against local decoherence

Zhong-Xiao Man, **Yun-Jie Xia**, and Nguyen Ba An，Physical Review A **78 (6)**, 064301 (2008)

[5] Different entanglement dynamical behaviors due to initial system-environment correlations，

Ying-Jie Zhang, Xu-Bo Zou, **Yun-Jie Xia**, and Guang-Can Guo，

Physical Review A **82 (2)**, 022108 (2010)

[6] Genuine multiqubit entanglement and controlled teleportation

Zhong-Xiao Man, **Yun-Jie Xia**, and Nguyen Ba An

Physical Review A **75 (5)**, 052306 (2007)

[7] Quantum teleportation in a dissipative environment，

Zhong-Xiao Man，Yun-Jie Xia，Quantum Inf Process (2012) 11:1911–1920。

[8] Quantum secure direct communication by using GHZ states and entanglement swapping，Zhong-Xiao Man, **Yun-Jie Xia**, and Nguyen Ba An,

J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **39 (18),** 3855–3863 (2006)。