

多粒子纠缠的保护方案

宗晓岚 杨名

Scheme for protecting multipartite quantum entanglement

Zong Xiao-Lan Yang Ming

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 65, 080303 (2016) DOI: 10.7498/aps.65.080303

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.080303>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2016/V65/I8>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

等距离耦合腔系统中的非局域性

Dynamics of nonlocality in an equidistance cavity coupled by fibers

物理学报.2016, 65(10): 100301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.100301>

基于轨道角动量的多自由度 W 态纠缠系统

Entangled W state of multi degree of freedom system based on orbital angular momentum

物理学报.2015, 64(14): 140301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.140301>

Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用和内禀消相干对基于两量子比特 Heisenberg 自旋系统的量子密集编码的影响

Effects of Dzyaloshinskii-Moriya interaction and intrinsic decoherence on quantum dense coding via a two-qubit Heisenberg spin system

物理学报.2015, 64(8): 080302 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.080302>

振幅阻尼信道量子隐形传态保真度恢复机理

Fidelity recovery scheme for quantum teleportation in amplitude damping channel

物理学报.2015, 64(1): 010303 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.010303>

差错基、量子码与群代数

Error bases group algebra and quantum codes

物理学报.2013, 62(13): 130306 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.130306>

多粒子纠缠的保护方案*

宗晓岚 杨名†

(安徽大学物理与材料科学学院, 合肥 230601)

(2015年12月9日收到; 2016年1月14日收到修改稿)

量子纠缠是量子信息的重要物理资源. 然而当量子系统与环境相互作用时, 会不可避免地产生消相干导致纠缠下降, 因此保护纠缠不受环境的影响具有重要意义. 振幅衰减是一种典型的衰减机制. 如果探测环境保证没有激发从系统中流出, 即视为对系统的一种弱测量. 本文基于局域脉冲序列和弱测量, 提出了一种可以保护多粒子纠缠不受振幅衰减影响的有效物理方案, 保护的對象是在量子通信和量子计算中发挥重要作用的 Cluster 态和 maximal slice 态.

关键词: 多粒子纠缠保护, 弱测量, 振幅衰减, 比特翻转

PACS: 03.67.Pp, 03.65.Ud, 03.67.Hk, 42.50.Lc

DOI: 10.7498/aps.65.080303

1 引言

量子纠缠在量子信息处理中具有重要的作用, 例如: 量子计算^[1]、量子密码^[2]、量子隐形传态^[3-5]和量子计量^[6,7]等. 然而当量子系统与环境发生相互作用时, 会不可避免地产生消相干导致纠缠下降, 这无疑会影响基于纠缠的量子信息处理过程的质量, 因此保护纠缠不受环境的影响具有重要意义. 现有的量子纠缠保护方案有量子纠错^[8]、无消相干子空间^[9,10]、量子 Zeno 效应^[11-13]和动力学解耦^[14]等. 事实上, 量子态衰减的方式有很多种, 如振幅衰减、相位衰减、消极化等. 振幅衰减描述由量子系统与环境相互作用导致的能量损失所诱发的量子消相干, 是目前量子系统中的一个典型的衰减机制. 本文主要研究受振幅衰减影响的量子态的纠缠保护.

近来, 利用弱测量保护量子态引起了广泛关注. 与传统的冯诺依曼测量不同, 在弱测量的情况下, 环境中放置了一个理想探测器, 以确保量子态的能量不衰减到环境中. 在受到弱测量辅助的振幅衰减过程中, 量子态只发生部分塌缩, 衰减后的

量子态仍然保留了初态的部分信息, 这使得初态纠缠可以通过量子操作得以恢复. 弱测量的可恢复性最早在量子纠错中被提出^[15], 且在单超导比特及单光子比特中得到实验验证^[16-18]. 最近的一个报道^[19]指出, 弱测量结合比特翻转操作可以保护单粒子态. 随后 Sun 等^[20]将此方案推广到两比特的情况, 不仅讨论了在弱测量辅助的衰减机制下如何利用比特翻转操作完全恢复量子态, 而且分析得出在没有弱测量辅助的振幅衰减机制下运用相同的方法也可以缓解纠缠衰减, 并给出了相应的线性光学实现方案. Kim 等^[21]的研究表明弱测量结合恢复操作亦可以很好地保护单比特态不受振幅衰减的影响, 并且利用该方法在实验上实现了对双比特量子态的纠缠保护. 在该方案中, 待保护的量子系统在衰减通道的前后分别被加上弱测量以及恢复操作, 通过调节两者的操作强度可以很好地保护量子态的纠缠, 并给出了可以得到最优恢复效果的弱测量强度关系式. 随后, Liao 等^[22]将该方案推广到三比特的情况, 既讨论了该方案对纠缠变化的影响, 也给出了保真度随时间的变化情况. 最近, Wang 等^[23]将该方案细化, 对四个弱测量参数做

* 国家自然科学基金 (批准号: 11274010) 和高等学校博士学科点专项科研基金 (批准号: 20113401110002) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: mingyang@ahu.edu.cn

出了全面优化, 给出了最大共生纠缠和弱测量参数的解析表达式, 并进一步研究了弱测量参数与信道参数的关系以及信道参数对纠缠的影响.

振幅衰减对单比特态以及多粒子纠缠态均有影响, 然而大部分现有的保护方案只关注单比特和两比特系统. 与两粒子纠缠态相比, 多粒子纠缠态在量子通信和量子计算中同样发挥着重要作用, 但多粒子纠缠远比两比特纠缠复杂, 所以目前已有的两比特纠缠保护方案不适用于多粒子纠缠的保护, 因此研究如何保护多粒子纠缠态十分必要. 典型的多粒子纠缠态有 Greenberger-Horne-Zeilinger (GHZ) 态^[24]、W 态^[25]、Cluster 态^[26]和 maximal slice (MS) 等^[27]. 不同类型的多粒子态适用于不同的量子信息处理任务. 例如: GHZ 态是实现量子隐形传态^[28]和量子密钥^[29]的完美通道; W 态常用于量子安全通信^[30]; MS 态作为一种部分纠缠态, 由 Gao 等^[27]于 2008 年提出, 常用于实现量子隐形传态, 具有百分百的成功率和保真度; Cluster 态是 Briegel 和 Raussendorf^[26]于 2001 年提出的一类高纠缠度的多粒子态, 被认为是执行单向量子计算的重要资源. 近年来, Menicucci 等^[31]提出利用 Cluster 态和压缩光, 并结合零差探测可以实现量子计算. Ukai 等^[32]于 2011 年利用四个纠缠光模和线性连续变量 Cluster 态在实验中无条件地实现了连续变量单向量子计算.

由于纠缠结构和性质的不同, 目前已提出的 GHZ 和 W 态的纠缠保护方案并不适用于 MS 态和 Cluster 态, 因此在本文中, 我们将设计一种可以保护三比特 MS 态和四比特 Cluster 态的物理方案. 第 2 部分简单介绍弱测量和振幅衰减的基本概念, 以及弱测量辅助的振幅衰减表达式; 第 3 部分详细讨论在弱测量辅助的振幅衰减机制下三比特 MS 态的纠缠演化情况; 第 4 部分主要讨论四比特 Cluster 态在弱测量辅助的振幅衰减机制下的量子纠缠的演化情况; 在第 5 部分中, 基于局域比特翻转操作我们设计出一种能够保护 Cluster 态和 MS 态不受弱测量辅助的振幅衰减影响的多粒子纠缠保护方案, 并通过数值模拟展示该方案的保护效果.

2 弱测量和振幅衰减的基本概念

我们的多粒子纠缠保护方案中主要涉及系统的振幅衰减、对系统进行的弱测量以及比特翻转

操作. 这里的比特翻转操作即通常的 Pauli σ_x 操作, 相对比较容易理解, 因此这里我们主要介绍弱测量及振幅衰减. 考虑一个二能级的量子系统 (S), 其基态和激发态分别用 $|0\rangle_S$ 和 $|1\rangle_S$ 表示. 假设环境初始处于真空态 $|0\rangle_E$, 那么相应的系统振幅衰减过程可以表示为:

$$|0\rangle_S|0\rangle_E \rightarrow |0\rangle_S|0\rangle_E, \quad (1a)$$

$$|1\rangle_S|0\rangle_E \rightarrow \sqrt{1-p}|1\rangle_S|0\rangle_E + \sqrt{p}|0\rangle_S|1\rangle_E, \quad (1b)$$

其中 $p \in [0, 1]$ 指系统激发流失到环境中的概率, $\sqrt{1-p} = e^{-\gamma t}$, γ 表示衰减率. 下标 S 和 E 分别代表环境和系统. 这里, 引入一个理想的探测器来随时监测环境的状态, 以确保激发还未流失到环境中. 一旦检测到环境中具有激发项, 将舍弃该系统, 并重新开始上述过程, 该过程即被称为对系统的弱测量. 在该弱测量辅助下系统的振幅衰减过程变为

$$|0\rangle_S|0\rangle_E \rightarrow |0\rangle_S|0\rangle_E, \quad (2a)$$

$$|1\rangle_S|0\rangle_E \rightarrow \sqrt{1-p}|1\rangle_S|0\rangle_E. \quad (2b)$$

显而易见, (2b) 式中的量子态几率振幅小于 1, 这与弱测量成功的概率小于 1 相对应. 因此在弱测量辅助下, 环境自由度可以从系统的振幅衰减中分离开:

$$|i\rangle_S \rightarrow (1-p)^{\frac{i}{2}}|i\rangle_S, \quad (i = 0, 1). \quad (3)$$

接下来研究这个弱测量辅助的振幅衰减过程对多比特量子态的影响及其保护方案.

3 弱测量辅助的振幅衰减对三粒子纠缠的影响——MS 态

本节主要讨论在弱测量辅助的振幅衰减下一类特殊的三比特量子态——MS 态的纠缠演化. 三量子位 MS 态形式如下:

$$|\psi_3\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\{|000\rangle + |11\rangle(\cos\theta|0\rangle + \sin\theta|1\rangle)\}, \quad (4)$$

其中 $\theta \in [0, 2\pi]$, 且不同 θ 值的对应态的纠缠大小不同. 如果三个比特各自的环境初始均为真空态 $|000\rangle_E$, 则根据 (3) 式, 在弱测量辅助的振幅衰减机制下, 该三比特量子态的演化如下:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\{|000\rangle + |11\rangle(\cos\theta|0\rangle + \sin\theta|1\rangle)\}|000\rangle_E$$

$$\begin{aligned} & \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}\{|000\rangle|000\rangle_E + \cos\theta(1-p)|110\rangle|000\rangle_E \\ & + \sin\theta(1-p)^{\frac{3}{2}}|111\rangle|000\rangle_E\}. \end{aligned} \quad (5)$$

对环境自由度求迹后, 弱测量辅助的振幅衰减机制下该三比特系统的状态演化如下:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{2}}\{|000\rangle + |11\rangle(\cos\theta|0\rangle + \sin\theta|1\rangle)\} \\ & \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}\{|000\rangle + \cos\theta(1-p)|110\rangle \\ & + \sin\theta(1-p)^{\frac{3}{2}}|111\rangle\}. \end{aligned} \quad (6)$$

本文使用“Negativity”^[33]来度量多粒子纠缠, 即给定一个量子态的密度矩阵 ρ , 其对应的Negativity值定义为

$$N = \sqrt{\prod_{i=1}^n N_i}, \quad N_i = \|\rho^{T_i}\| - 1, \quad (7)$$

其中 ρ^{T_i} 表示对第 i 个粒子进行部分转置, $\|\rho^{T_i}\|$ 表示部分转置矩阵 ρ^{T_i} 所有本征值的绝对值之和. 如图1所示, 在没有任何保护操作的情况下, 该MS态的纠缠将受到弱测量辅助的振幅衰减的影响, 大小随时间的增加不断减小.

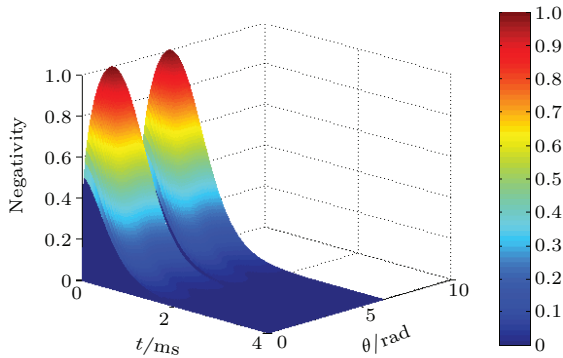


图1 无任何保护操作时, MS态的纠缠随 t 和 θ 的变化图, $\gamma = 1000$

Fig. 1. Negativity of MS state as a function of t and θ without control pulses, $\gamma = 1000$.

4 弱测量辅助的振幅衰减机制对四个量子位的影响——Cluster态

四量子位 Cluster态形式如下:

$$\begin{aligned} |\psi_4\rangle = & \frac{1}{2}(|0000\rangle + |0011\rangle + |1100\rangle \\ & - |1111\rangle). \end{aligned} \quad (8)$$

与上文类似, 如果四个比特各自的环境初始均为真空态 $|000\rangle_E$, 则在弱测量辅助的振幅衰减机制下,

该四比特量子态演化如下:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}(|0000\rangle + |0011\rangle + |1100\rangle - |1111\rangle)|000\rangle_E \\ & \rightarrow \frac{1}{2}\{|0000\rangle + (1-p)(|0011\rangle + |1100\rangle) \\ & - (1-p)^2|1111\rangle\}|000\rangle_E, \end{aligned} \quad (9)$$

对环境求迹后, 系统的末态形式如下:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}\{|0000\rangle + (1-p)(|0011\rangle + |1100\rangle) \\ & - (1-p)^2|1111\rangle\}. \end{aligned} \quad (10)$$

从(10)式可以看出, 随着 p 的不断增大, 包含激发的三项所占比例不断减小, 纠缠也随之衰减至零, 如图2所示.

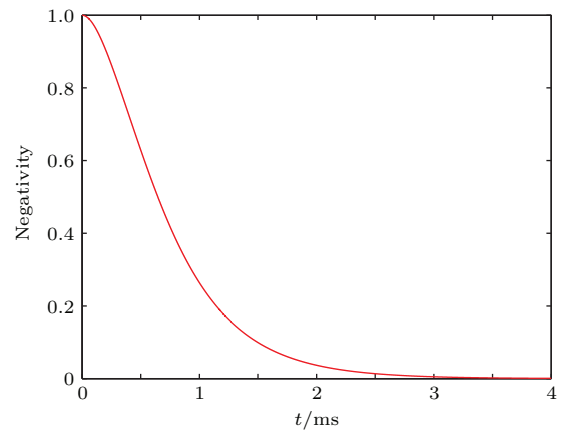


图2 无任何保护操作时, Cluster态的纠缠随 t 的变化图, $\gamma = 1000$

Fig. 2. Negativity of Cluster state as a function of t in the absence of control pulses, $\gamma = 1000$.

5 基于弱测量以及比特翻转的量子态恢复方案

为实现对上述两种多比特量子态的保护, 对每个比特分别实施以下脉冲序列(如图3所示): 弱测量辅助的振幅衰减、比特翻转、弱测量辅助的振幅衰减、比特翻转, 且每两个比特翻转操作之间的时间间隔相同. 首先我们考虑在该脉冲序列作用下, MS态的演化过程:

$$\begin{aligned} |\psi_3\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}}\{|000\rangle + |11\rangle(\cos\theta|0\rangle + \sin\theta|1\rangle)\} \\ & \xrightarrow{\text{弱测量}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|000\rangle + \cos\theta(1-p)|110\rangle \\ & + \sin\theta(1-p)^{\frac{3}{2}}|111\rangle\} \\ & \xrightarrow{\text{比特翻转}} \frac{1}{\sqrt{2}}\{|111\rangle + \cos\theta(1-p)|001\rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \sin \theta (1-p)^{\frac{3}{2}} |000\rangle \} \\
 \xrightarrow{\text{弱测量}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \{ (1-p)^{\frac{3}{2}} |111\rangle + \cos \theta (1-p)^{\frac{3}{2}} |001\rangle \\
 & + \sin \theta (1-p)^{\frac{3}{2}} |000\rangle \} \\
 \xrightarrow{\text{比特翻转}} & \frac{1}{\sqrt{2}} (1-p)^{\frac{3}{2}} \{ |000\rangle + \cos \theta |110\rangle \\
 & + \sin \theta |111\rangle \}. \quad (11)
 \end{aligned}$$

从(11)式可以看出,在弱测量辅助的振幅衰减下,通过添加比特翻转操作,可以平衡基态和激发态的衰减速率,从而有效地恢复纠缠.而演化后的公因数的平方 $(1-p)^3$ 即为该方案的成功概率.相应的数值计算(如图4(a)所示)表明,无论 θ 值如何选取,只要初始纠缠不为零,在脉冲序列的保护下,MS态的纠缠均可恢复至最大值.为了更好地展现脉冲的保护效果,我们令 $\theta = \pi/4$,从图4(b)中可以清楚地看到纠缠值(Negativity)随时间变化的趋势.

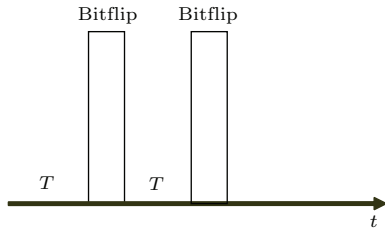


图3 脉冲序列示意图, T 代表脉冲间隔时间

Fig. 3. Pulse distributions, T is the pulse intervals.

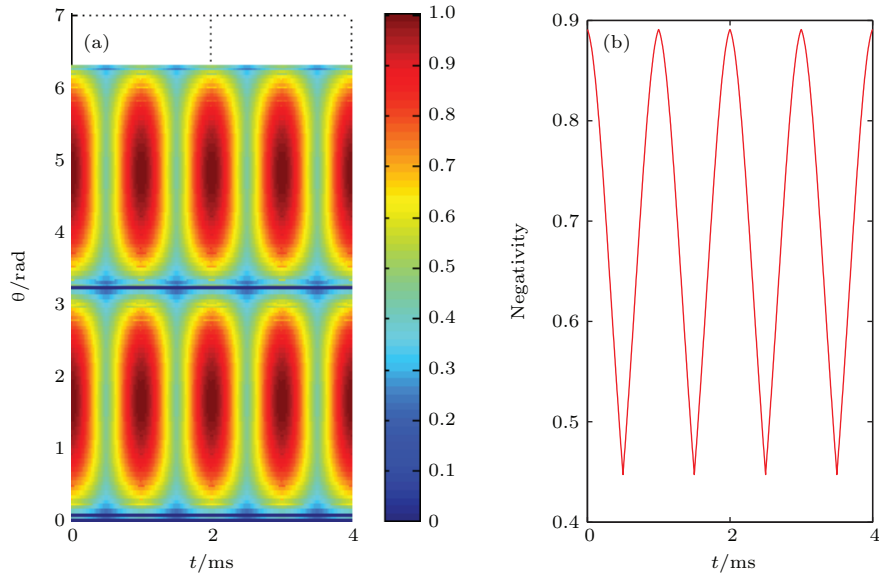


图4 施加比特翻转脉冲序列后, MS态的纠缠演化情况 (a) Negativity随 t 和 θ 变化的等高图; (b)取 $\theta = \pi/4$ 时, negativity随时间变化图; $\gamma = 1000$, $T = 5 \times 10^{-4}$

Fig. 4. The negativity evolution of MS state, when the bit flip operation series are present: (a) Contour plot of negativity as a function of t and θ ; (b) the negativity as a function of t , when $\theta = \pi/4$. $\gamma = 1000$, $T = 5 \times 10^{-4}$.

与三比特MS态的演化类似,运用相同的方法也可完全恢复四比特Cluster态及其纠缠.在对每个比特分别实施如图3所示的脉冲序列后,Cluster态的演化如下:

$$\begin{aligned}
 |\psi_4\rangle & = \frac{1}{2} (|0000\rangle + |0011\rangle + |1100\rangle - |1111\rangle) \\
 \xrightarrow{\text{弱测量}} & \frac{1}{2} \{ |0000\rangle + (1-p)(|0011\rangle + |1100\rangle) \\
 & - (1-p)^2 |1111\rangle \} \\
 \xrightarrow{\text{比特翻转}} & \frac{1}{2} \{ |1111\rangle + (1-p)(|1100\rangle + |0011\rangle) \\
 & - (1-p)^2 |0000\rangle \} \\
 \xrightarrow{\text{弱测量}} & \frac{1}{2} \{ (1-p)^2 |1111\rangle \\
 & + (1-p)^2 (|1100\rangle + |0011\rangle) \\
 & - (1-p)^2 |0000\rangle \} \\
 \xrightarrow{\text{比特翻转}} & \frac{1}{2} (1-p)^2 (|0000\rangle + |1100\rangle \\
 & + |0011\rangle - |1111\rangle). \quad (12)
 \end{aligned}$$

从(12)式中可以看出,虽然有弱测量辅助的振幅衰减的影响,经过脉冲序列后的四个比特仍处于Cluster态.该方案的成功概率为 $(1-p)^4$,从图5可以看出该方案对纠缠的保护效果.

综上所述,通过不断施加强测量及比特翻转脉冲序列,可以很好地抑制振幅衰减对三比特MS态以及四比特Cluster态的影响.为保护多粒子量子态及其纠缠提供了一个切实可行的物理方案.

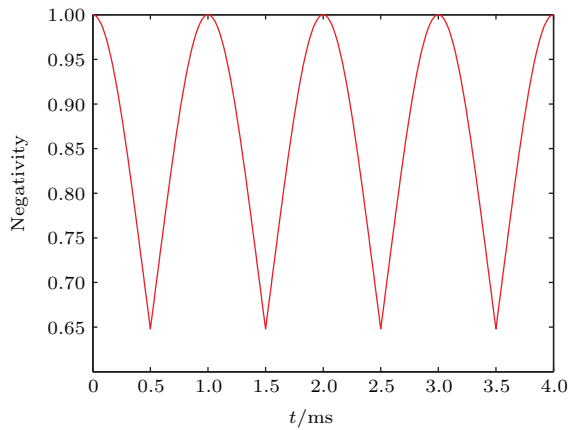


图5 施加比特翻转脉冲序列后, 四比特 Cluster 态的纠缠随 t 的变化 $\gamma = 1000$, $T = 5 \times 10^{-4}$

Fig. 5. The negativity of Cluster state as a function of t , when the bit-flipping operation series are added. $\gamma = 1000$, $T = 5 \times 10^{-4}$.

6 结 论

多粒子纠缠是量子信息处理中的重要资源, 相比于两比特态具有更广泛的应用和更复杂的纠缠结构. 本文研究了如何利用弱测量及翻转操作保护三比特 MS 态和四比特 Cluster 态不受振幅衰减的影响, 提出了一个能够保护这两种多粒子纠缠态不受弱测量辅助的振幅衰减影响的保护方案. 我们选用 Negativity 去度量多粒子纠缠, 并通过数值计算发现该方案对四比特 Cluster 态有很好的保护效果. 同时, 无论 MS 态的参数 θ 如何选择, 只要加入合适的保护脉冲序列, 均可在一个周期内成功恢复其纠缠.

参考文献

- [1] Xue Z Y, Zhou J, Wang Z D 2015 *Phys. Rev. A* **92** 022320
- [2] Masanes L, Pironio S, Acín A 2011 *Nat. Commun.* **2** 238
- [3] Bennett C H, Brassard G, Crépeau C, Jozsa R, Peres A, Wootters W K 1993 *Phys. Rev. Lett.* **70** 1895
- [4] Bouwmeester D, Pan J W, Mattle K, Eibl M, Weinfurter H, Zeilinger A 1997 *Nature* **390** 575
- [5] Kim Y H, Kulik S P, Shih Y 2001 *Phys. Rev. Lett.* **86** 1370
- [6] Giovannetti V, Lloyd S, Maccone L 2011 *Nature Photon.* **5** 222
- [7] Xue Z Y 2010 *J. Anhui Univ.* **34** 12
- [8] Steane A M 1996 *Phys. Rev. Lett.* **77** 793
- [9] Lidar D A, Chuang I L, Whaley K B 1998 *Phys. Rev. Lett.* **81** 2594
- [10] Kwiat P G, Berglund A J, Altepeter J B, White A G 2000 *Science* **290** 498
- [11] Facchi P, Lidar D A, Pascazio S 2004 *Phys. Rev. A* **69** 183
- [12] Maniscalco S, Francica F, Zaffino R L, Zaffino R L, Gullo N L, Plastina F 2008 *Phys. Rev. Lett.* **100** 1937
- [13] Sun Q H, Yang M, Cao Z L 2011 *J. Anhui Univ.* **35** 34
- [14] Viola L, Knill E, Lloyd S 1999 *Phys. Rev. Lett.* **82** 2417
- [15] Koashi M, Ueda M 1999 *Phys. Rev. Lett.* **82** 2598
- [16] Korotkov A N, Jordan A N 2006 *Phys. Rev. Lett.* **97** 166805
- [17] Katz N 2008 *Phys. Rev. Lett.* **101** 200401
- [18] Kim Y S, Cho Y W, Ra Y S, Kim Y H 2009 *Opt. Express* **17** 11978
- [19] Sun Q, Al-Amri M, Zubairy M S 2009 *Phys. Rev. A* **80** 033838
- [20] Sun Q, Al-Amri M, Davidovich L, Zubairy M S 2010 *Phys. Rev. A* **82** 052323
- [21] Kim Y S, Lee J C, Kwon O, Kim Y H 2012 *Nature Phys.* **8** 117
- [22] Liao X P, Fang M F, Fang J S, Zhu Q Q 2014 *Chin. Phys. B* **23** 020304
- [23] Wang M J, Xia Y J 2015 *Phys. Sin.* **64** 40303
- [24] Greenberger D M, Horne M A, Shimony A, Zeilinger A 1990 *Am. J. Phys.* **58** 1131
- [25] Dür W 2001 *Phys. Rev. A* **63** 020303
- [26] Briegel H J, Raussendorf R 2001 *Phys. Rev. Lett.* **86** 910
- [27] Gao T, Yan F L, Li Y C 2008 *Eur. Phys. Lett.* **84** 50001
- [28] Zhao Z, Chen Y A, Zhang A N, Yang T, Briegel H J, Pan J W 2004 *Nature* **430** 54
- [29] Kempe J 1999 *Phys. Rev. A* **60** 910
- [30] Wang J, Zhang Q, Tang C J 2007 *Commun. Theor. Phys.* **48** 637
- [31] Menicucci N C, Loock P V, Gu M, Weedbrook C, Ralph T C, Nielsen M A 2006 *Phys. Rev. Lett.* **97** 110501
- [32] Ukai R, Iwata N, Shimokawa Y, Armstrong S C, Politi A, Yoshikawa J, van Peter L, Furusawa A 2011 *Phys. Rev. Lett.* **106** 240504
- [33] Vidal G, Werner R F 2002 *Phys. Rev. A* **65** 032314

Scheme for protecting multipartite quantum entanglement^{*}

Zong Xiao-Lan Yang Ming[†]

(Physics and Material Science, Anhui University, Hefei 230601, China)

(Received 9 December 2015; revised manuscript received 14 January 2016)

Abstract

Entanglement is a vital resource for many quantum information processes. However, the unavoidable interaction between quantum system and its environment will lead to quantum decoherence. So protecting remote entanglement against decoherence is of great importance for realizing quantum information and quantum communication. In fact, there are many types of decoherences. Besides the depolarization and phase damping, amplitude damping is a typical decoherence mechanism. If we monitor the environments to guarantee that no excitation escapes from the system, the amplitude damping is modified into a weak measurement induced amplitude damping of the system. Amplitude damping decoherence can affect both single-qubit quantum states and multipartite entangled states. However, in most of previous quantum state protection schemes, the authors only pay attention to the single-qubit system or two-qubit system. Compared with bipartite entangled states, multipartite entangled states possess many advantages, but the entanglement property of multipartite entangled state is much more complicated than bipartite entanglement, so bipartite entanglement reversal (protection) scheme may not be suitable for multipartite case. Thus, in this paper, according to local pulse series and weak measurement, we propose an effective scheme for protecting two multipartite entangled states against amplitude damping, and these two multipartite states are Cluster state and maximal slice (MS) state. Cluster state and MS state are two typical classes of multipartite entangled states, which play important roles in quantum computation and communication, respectively. These two states cannot be converted into each other with local operation and classical communication. Owing to its good operational and computable properties, here we choose “negativity” as a measure to quantify the multipartite entanglement. For the case of MS state, no matter what the initial parameter is, when the local pulses are exerted on all qubits, the entanglement can be fixed around the entanglement of the initial state. Similarly, in the four-qubit cluster state case, if a series of flip operations is exerted on all qubits, it is shown that the multipartite entanglement can be recovered to the maximum 1.0. All these results show that this protocol can protect remote multipartite entanglement effectively. The physical mechanism behind this scheme is that the weak measurement combining with flip operation can balance the weight of different terms of the state, and move the entanglement toward the initial value. To summarize, our scheme is much simpler and feasible, which may warrant its experimental realization. Moreover, our scheme could be extended to protect other multipartite states.

Keywords: multipartite entanglement protection, weak measurement, amplitude damping, qubit flip

PACS: 03.67.Pp, 03.65.Ud, 03.67.Hk, 42.50.Lc

DOI: 10.7498/aps.65.080303

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11274010) and the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (Grant No. 20113401110002).

[†] Corresponding author. E-mail: mingyang@ahu.edu.cn