

与 XY 双自旋链耦合的双量子比特系统的关联性与相干性

杨阳 王安民 曹连振 赵加强 逯怀新

Correlation and coherence for two-qubit system coupled to XY spin chains

Yang Yang Wang An-Min Cao Lian-Zhen Zhao Jia-Qiang Lu Huai-Xin

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 67, 150302 (2018) DOI: 10.7498/aps.67.20180812

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.67.20180812>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2018/V67/I15>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[构造纠缠目击的一般方法](#)

General method of constructing entanglement witness

物理学报.2018, 67(7): 070303 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.67.20172697>

[基于量子相干性的四体贝尔不等式构建](#)

Four-partite Bell inequalities based on quantum coherence

物理学报.2017, 66(20): 200301 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.200301>

[与 Ising 链耦合的中心双量子比特系统的量子关联](#)

Quantum correlation for a central two-qubit system coupled to Ising chain

物理学报.2013, 62(13): 130305 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.130305>

[Majorana 表象下的纠缠动力学](#)

Entanglement dynamics in Majorana representation

物理学报.2013, 62(3): 030303 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.030303>

[利用因式化纠缠模拟纠缠动力学行为的有效性研究](#)

On the validity of factorization law for the entanglement evolution of two qubits

物理学报.2012, 61(21): 210304 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.210304>

与 XY 双自旋链耦合的双量子比特系统的关联性 与相干性*

杨阳^{1)†} 王安民²⁾ 曹连振¹⁾ 赵加强¹⁾ 逯怀新¹⁾

1) (潍坊学院物理与光电工程学院, 山东省多光子纠缠与操纵实验室, 潍坊 261061)

2) (中国科学技术大学近代物理系, 合肥 230026)

(2018年4月25日收到; 2018年5月20日收到修改稿)

研究了双量子比特系统中在具有 Dzyaloshinsky-Moriya 相互作用的独立 XY 自旋链环境下的相干性与关联性动力学. 推导出相干性与关联性的演化规律. 发现在自旋链的临界点附近, 当 $t < t_0$ 时, 系统相干性的演化与经典关联完全相同; 而在 $t > t_0$ 时, 则与量子关联完全相同; 在 t_0 时刻, 量子关联突变为经典关联.

关键词: 相对熵相干度量, 量子关联, XY 自旋链, Dzyaloshinsky-Moriya 相互作用

PACS: 03.67.Mn, 03.65.Ud, 03.65.Yz

DOI: 10.7498/aps.67.20180812

1 引言

量子相干性源于量子力学的叠加原理, 在量子信息处理中扮演着重要的角色. 比如在纠缠产生^[1,2]、量子计量学^[3-5]、量子热力学^[6-8]以及量子生物学^[9-11]中都有着广泛的应用.

Baumgratz 等^[12]提出了一个量化量子相干性应满足的条件. 多个量子相干度量方法随之被提出, 比如相对熵相干度量和 l_1 范数相干度量, 二者都是基于所考察量子态与非相干态集合间的某种最小距离而定义的. 基于凸顶方法的生成度量^[13,14]、基于操作^[15,16]以及基于量子纠缠^[2]的相干度量也相继被提出. 在准确度量相干态相干性的基础上, 人们对量子相干性的多个方面展开研究, 比如量子相干性与量子纠缠的转化^[17,18]. 量子关联在量子算法^[19,20]、远程量子态制备^[21]等量子信息任务处理中同样扮演着重要的作用, 因此量子相干性与量子关联的关系也引起了人们的关注^[22-24].

现实中, 量子系统不可避免地要与环境发生相互作用而丢失相干性, 进而不能有效地执行量子

信息处理任务. 量子关联在实际处理任务中, 也遭到环境噪声的破坏, 但是无论是 Markovian 还是非 Markovian 环境, 人们对量子关联的破坏研究相对较多^[25-28]. 量子关联可以不受某些具体噪声的影响而保持不变, 同时量子关联与经典关联之间存在突变效应^[29-34]. Bromley 等^[35]首先发现对于某些特定的量子系统, 当体系处于某些特殊的初态时, 基于距离的量子相干度量保持不变, 即会发生相干冻结现象. Yu 等^[36]给出了量子系统的相干性完全冻结的条件. 相干性一旦遭到破坏, 量子系统处理量子信息任务的能力也随即被破坏. 所以环境作用下量子系统相干性演化规律吸引了众多学者进行研究^[37-44]. 本文主要研究自旋链环境作用下, 系统相干性与关联性的演化规律.

本文将具有 Dzyaloshinsky-Moriya (DM) 相互作用的 XY 自旋链作为量子系统所处的环境, 考虑双量子比特系统的量子态的演化规律, 推导出某些初态的相干性演化公式, 并与系统的关联相比较. 我们发现量子相干性在不同的时间段有不同的对应, 在 $t < t_0$ 时, 量子相干性的演化与经典关联完全相同; 而在 $t > t_0$ 时, 则与量子关联完全相同. 同时, 我们考虑了 DM 相互作用对量子相干性的影响.

* 国家自然科学基金 (批准号: 11404246) 和山东省自然科学基金 (批准号: ZR2017MF040) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: yangyang@mail.ustc.edu.cn

2 双 XY 自旋链中双量子比特的演化

由两个无相互作用的自旋组成的双量子比特 A, B 构成的系统在具有 DM 相互作用的独立 XY 自旋链环境下的哈密顿量为

$$H = H_E + H_I, \quad (1)$$

$$H_E = \sum_{l=A,B} \sum_{i=1}^N \left[\frac{1+\gamma}{2} \sigma_{i,l}^x \sigma_{i+1,l}^x + \frac{1-\gamma}{2} \sigma_{i,l}^y \sigma_{i+1,l}^y + \lambda \sigma_{i,l}^z + D \cdot (\sigma_{i,l}^x \sigma_{i+1,l}^y - \sigma_{i,l}^y \sigma_{i+1,l}^x) \right], \quad (2)$$

$$H_I = \sum_{l=A,B} \sum_{i=1}^N \delta \sigma_{i,l}^z |e\rangle_l \langle e|, \quad (3)$$

其中 H_E , H_I 分别代表自旋链构成的环境的哈密顿量和系统与环境的相互作用; $\sigma_{i,l}^\alpha$ ($\alpha = x, y, z$) 代表第 l 条自旋链第 i 个位置的泡利算符; N 为每条自旋链的总粒子数; γ 代表各向异性参数; λ 代表与横向磁场的耦合强度; D 代表 DM 相互作用沿 z 方向的耦合强度; δ 描述自旋链环境与自旋系统的耦合强度; $|g\rangle$, $|e\rangle$ 分别代表自旋朝下与朝上的量子态。

设系统的初态为 $\rho_{AB}(0) \otimes |G\rangle_{\lambda\lambda} \langle G|$, $|G\rangle_\lambda$ 为环境哈密顿量 H_E 的基态, 系统的初态为

$$\rho_{AB}(0) = \frac{1}{4} \left(I + \sum_{i=1}^3 c_i \sigma_i \otimes \sigma_i \right),$$

σ_i ($i = x, y, z$) 为泡利算符. 系统的密度算符演化为

$$\begin{aligned} \rho_{AB}(t) &= \text{tr}_E[e^{-iHt} \rho_{AB}(0) \otimes |G\rangle_{\lambda\lambda} \langle G| e^{iHt}] \\ &= \frac{1}{4} \left\{ (1+c_3)(|gg\rangle \langle gg| + |ee\rangle \langle ee|) \right. \\ &\quad + (1-c_3)(|ge\rangle \langle ge| + |eg\rangle \langle eg|) \\ &\quad + [(c_1-c_2)F^2(t)|gg\rangle \langle ee| \\ &\quad \left. + (c_1+c_2)|F(t)|^2|ge\rangle \langle eg| + \text{H.c.}] \right\}, \quad (4) \end{aligned}$$

其中, $F(t) = {}_\lambda \langle G| e^{iH_E^{\lambda_e} t} e^{-iH_E^{\lambda_g} t} |G\rangle_\lambda$, $\lambda_e = \lambda + \delta$, $\lambda_g = \lambda$. 利用 Jordan-Wigner 与 Bogoliubov 变换, $H_E^{\lambda_\mu}$ 可以被对角化为^[45-47]

$$H_E^{\lambda_\mu} = \sum_k E_k^{\lambda_\mu} \left(b_{k,\lambda_\mu}^\dagger b_{k,\lambda_\mu} - \frac{1}{2} \right), \quad (5)$$

其中

$$E_k^{\lambda_\mu} = 2\sqrt{\varepsilon_\mu^2 + \gamma^2 \sin^2(2\pi k/N)} + 4D \sin(2\pi k/N), \quad (6)$$

$\varepsilon_\mu = \lambda_\mu - \cos(2\pi k/N)$, $k = -M, \dots, M$, 且 $M = (N-1)/2$. $H_E^{\lambda_\mu}$ 对应的基态

$$|G\rangle_{\lambda_\mu} = \prod_{k>0} (\cos \Theta_k^{\lambda_\mu} + i \sin \Theta_k^{\lambda_\mu} b_{k,\lambda_\mu}^\dagger b_{-k,\lambda_\mu}) |G\rangle_\lambda,$$

$$\Theta_k^{\lambda_\mu} = (\theta_k^{\lambda_\mu} - \theta_k^\lambda)/2,$$

满足 $b_{k,\lambda_\mu} |G\rangle_{\lambda_\mu} = 0$, $\theta_k^{\lambda_\mu} = \arctan \frac{\gamma \sin(2\pi k/N)}{\varepsilon_0}$, $\varepsilon_0 = \lambda_\mu - \cos(2\pi k/N)$. $F(t)$ 的具体形式为

$$F(t) = \exp \left[i \sum_k \left(E_k^{\lambda_g} - E_k^{\lambda_e} \right) t \right] \times \prod_{k>0} \left(\cos^2 \Theta_k^{\lambda_e} + \sin^2 \Theta_k^{\lambda_e} e^{-i2E_k^{\lambda_e} t} \right). \quad (7)$$

与 XY 自旋链相比较, 具有 DM 相互作用的 XY 自旋链有明显的区别, 一是能谱 $E_k^{\lambda_e}$ 中含有相互作用强度 D , 二是 $\Theta_k^{\lambda_e}$ 中含有 Bogoliubov 变换角度 $\theta_k^{\lambda_e}$. 因此 DM 相互作用可能对量子相干性产生影响, 其影响将由 $|F(t)|$ 的具体表达式

$$|F(t)| = \prod_{k>0} \left(1 - \sin^2 2\Theta_k^{\lambda_e} \cos^2 E_k^{\lambda_e} t \right)$$

来决定.

3 量子失协与量子相干度量

量子失协被用来量化量子关联, 是由经典互信息过渡到量子情形下所产生的差异而来^[48]. 对双量子系统, 其定义为

$$Q(\rho) = I(\rho) - C_c(\rho), \quad (8)$$

其中 $I(\rho)$, $C_c(\rho)$ 分别为总关联、经典关联;

$$I(\rho_{AB}) = S(\rho_A) + S(\rho_B) - S(\rho_{AB}),$$

$$C_c(\rho) = S(\rho_A) - \min_{\{\Pi_j^B\}} S(\rho|\Pi_j^B),$$

$$S(\rho) = -\text{tr} \rho \log_2 \rho.$$

$S(\rho|\Pi_j^B)$ 为量子条件熵, 是对系统中的子系统 B 进行测量后所得的量子态 $\rho_j = (I \otimes \Pi_j^B) \rho (I \otimes \Pi_j^B) / p_j$ 的熵, $p_j = \text{tr}[(I \otimes \Pi_j^B) \rho (I \otimes \Pi_j^B)]$.

Baumgratz 等^[12] 给出了严格量化量子相干性所应满足的条件: (i) 非负性, $C(\rho) \geq 0$, 只有非相干态才等于零; (ii) 单调性, $C(\rho) \geq C(\Lambda(\rho))$, Λ 为非相干操作; (iii) 强单调性, $C(\rho) \geq \sum_j p_j C(\rho_j)$, 其中 λ 为非相干操作, $\rho_j = K_j \rho K_j^\dagger / p_j$, $p_j = \text{tr}(K_j \rho K_j^\dagger)$; (iv) 凸性, $C(q\rho + (1-q)\tau) \leq qC(\rho) + (1-q)C(\tau)$. 基于此, 相对熵相干度量被提出, 其定义为

$$C_r(\rho) = \min_{\sigma \in \tau} S(\rho||\sigma) = S(\rho_{\text{diag}}) - S(\rho), \quad (9)$$

其中 τ 为非相干态集合, ρ_{diag} 为 ρ 的对角元组成的矩阵.

4 量子相干动力学

不失一般性, 选取 $c_1 = 1, c_2 = -c_3$, 由 (8) 式得双量子比特系统的总关联为

$$I(\rho_{AB}) = 2 + \sum_{i=1}^4 \lambda_i \log_2 \lambda_i, \quad (10)$$

其中

$$\begin{aligned} \lambda_{1,2} &= (1 + c_3) \left(1 \pm |F(t)|^2 \right) / 4, \\ \lambda_{3,4} &= (1 - c_3) \left(1 \pm |F(t)|^2 \right) / 4. \end{aligned} \quad (11)$$

系统的量子关联为

$$\begin{aligned} Q(\rho_{AB}) &= \left[(1 - c) \log_2 (1 - c) \right. \\ &\quad \left. + (1 + c) \log_2 (1 + c) \right] / 2, \end{aligned} \quad (12)$$

其中, $c = \max\{|F(t)|^2, c_3\}$.

由 (9) 式得系统的相对熵相干度量为

$$\begin{aligned} C_r(\rho_{AB}) &= \sum_{i=1}^4 \lambda_i \log_2 \lambda_i - \frac{1}{2} \left[(1 - c_3) \log_2 \frac{1 - c_3}{4} \right. \\ &\quad \left. + (1 + c_3) \log_2 \frac{1 + c_3}{4} \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

利用量子关联或者相干性都可以探测到 XY 自旋链在 $\lambda = 1$ 处存在相变点 [33]. 现在主要考虑相变点 $\lambda = \lambda_c = 1$ 附近的关联以及相干性的演化情况. 选取 $\delta = 0.1, \gamma = 0.5, c_3 = 0.8, N = 401$ 时, 图 1(a) 展示了 $D = 0$ 时关联与相对熵相干度量的演化. 发现在 $t = t_0$ 处量子关联与经典关联存在突变, 突变时刻 t_0 满足 $|F(t_0)|^2 = c_3$. 当 $t < t_0$ 时,

量子关联不随时间而改变, 经典关联发生演化; 当 $t > t_0$ 时, 经典关联不随时间而改变, 量子关联发生演化. 有趣的是, 当 $t < t_0$ 时, 退相干曲线与经典关联的演化曲线完全相同; 而 $t > t_0$ 时, 则与量子关联完全相同. 说明 $t < t_0$ 时, 系统量子态与最近的经典关联态的相对熵距离为常数. 当 $t > t_0$ 时, (12) 式中的 c 由 c_3 变为 $|F(t)|^2$, 此时可将 (13) 式整理为 (12) 式, 因此量子关联与相干性的演化完全相同. 现在我们从物理上进行分析, 量子相干性的测量依赖于具体基矢的选择, (9) 式的相对熵测量中子系统 B 所选择的测量基为 $\{|g\rangle, |e\rangle\}$; 而量子关联的测量则必须选择最优基来进行测量. 当 $t > t_0$ 时, 测量量子关联所选择的最优基为 $\{|g\rangle, |e\rangle\}$, 与量子相干性的测量基相同, 所以量子关联与量子相干性完全相同, 这与文献 [37, 38] 中所论述的最优基理论相一致. 同时, 双量子比特系统独自与广义自旋链环境相耦合, 与系统中量子比特分别与玻色环境和 Ising 自旋链环境相耦合的情形相比, 关联与相干性的等价关系相似 [49]. DM 相互作用的影响可以从图 1(b) 和图 1(c) 展现出来, DM 相互作用并不改变相干性与关联性的特点, 而是加快相干性与关联的衰变, 转变时刻随着 D 的增加而提前.

图 2 展现了不同各向异性参数 γ 对量子相干性与关联的影响, 其中 $\delta = 0.1, D = 0, c_3 = 0.8, N = 401$. 随着各向异性参数 γ 的增加, 退相干效应加快, 这与中心双量子比特系统与一条 XY 自旋链的耦合情形相似 [45, 46]. 而当选取 $\gamma = 0.5, D = 0, c_3 = 0.8, N = 401$ 时, 图 3 展示了不同耦合强度 δ 下的量子关联与退相干的演化. 我们发现耦合强度 δ 同样能使相干性与量子关联的衰变加快.

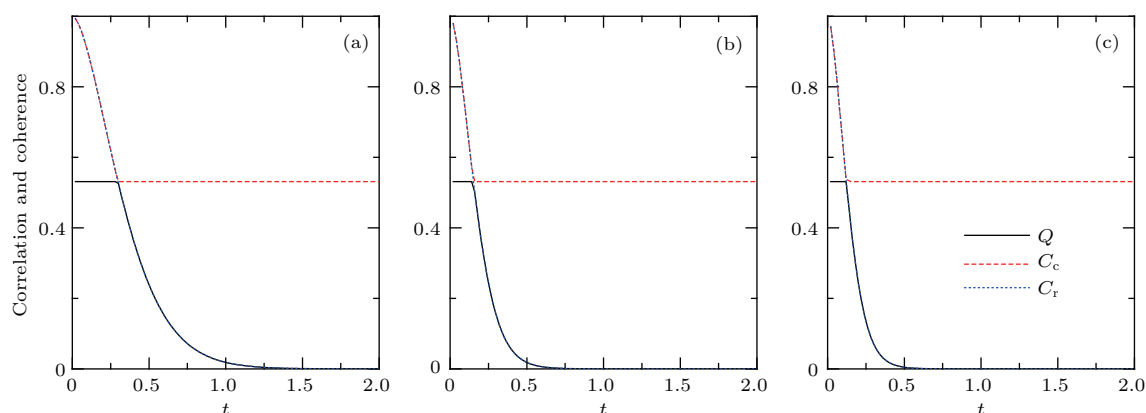


图 1 不同 DM 相互作用下关联性与相干性的演化规律 (a) $D = 0$; (b) $D = 0.4$; (c) $D = 0.6$

Fig. 1. The evolution of correlations and coherence for different values of the DM interaction: (a) $D = 0$; (b) $D = 0.4$; (c) $D = 0.6$.

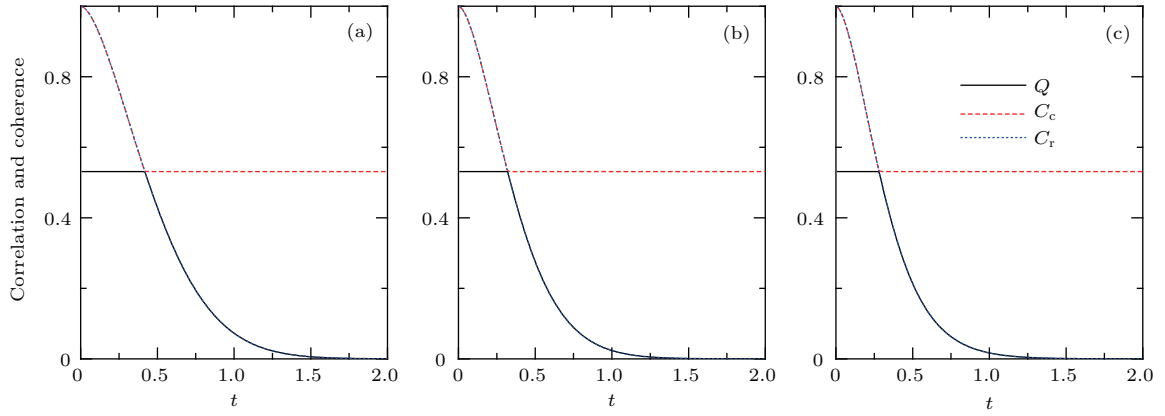

 图2 不同各向异性参数下关联性与相干性的演化规律 (a) $\gamma = 0.2$; (b) $\gamma = 0.4$; (c) $\gamma = 0.6$

Fig. 2. The evolution of correlations and coherence for different values of the anisotropy parameter: (a) $\gamma = 0.2$; (b) $\gamma = 0.4$; (c) $\gamma = 0.6$.

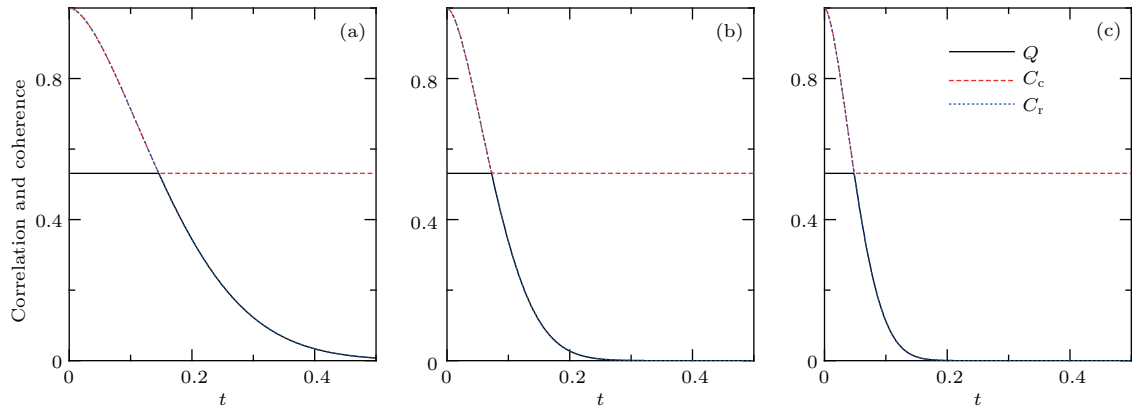

 图3 不同耦合常数下关联性与相干性的演化规律 (a) $\delta = 0.2$; (b) $\delta = 0.4$; (c) $\delta = 0.6$

Fig. 3. The evolution of correlations and coherence for the different coupling constants: (a) $\delta = 0.2$; (b) $\delta = 0.4$; (c) $\delta = 0.6$.

对不同的 N 和 δ , 量子相干性与关联性有相同的演化规律, 当 $N \rightarrow N/\alpha^2$, $\delta \rightarrow \alpha\delta$ 时, 量子关

联演化与相干性演化保持不变, 即量子关联与相干性在标度变换下具有不变性, 这是由退相干因子 $|F(t)|$ 的性质所决定^[32], 如图4所示。

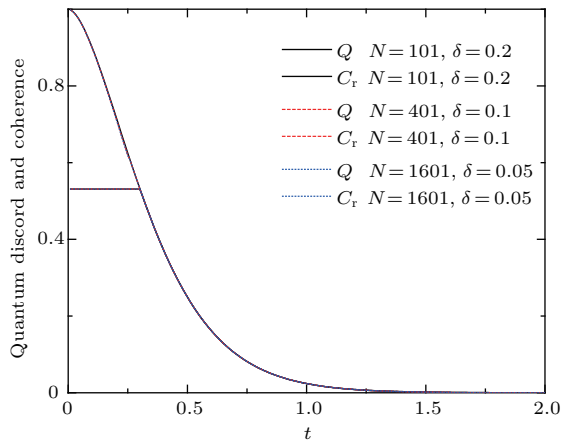

 图4 $\gamma = 0.5$, $D = 0$, $c_3 = 0.8$ 时不同自旋链粒子数与耦合常数下量子关联与量子相干的演化规律

Fig. 4. The evolution of quantum correlation and quantum coherence for different values of size of the chain and coupling constants at $\gamma = 0.5$, $D = 0$, $c_3 = 0.8$.

5 结 论

本文研究了双量子比特系统分别独自与具有DM相互作用的XY自旋耦合下的量子相干性与关联动力学. 量子相干性与量子关联分别采用相对熵、量子失协来度量. 推导出了相干性与关联性的演化规律. 发现在自旋链的临界点附近, 系统相干性的演化与关联的演化存在统一性. 在量子关联未衰变阶段, 相干性的演化与经典关联的演化完全相同, 而后则与量子关联的演化完全相同. 此外, 还发现各向异性参数 γ 、DM相互作用强度 D 以及耦合强度 δ 并不改变量子相干性以及关联的演化特点, 但随着参数增加会使相干性及关联性的衰变加快.

参考文献

- [1] Asbóth J K, Calsamiglia J, Ritsch H 2005 *Phys. Rev. Lett.* **94** 173602
- [2] Streltsov A, Singh U, Dhar H S, Bera M N, Adesso G 2015 *Phys. Rev. Lett.* **115** 020403
- [3] Giovannetti V, Lloyd S, Maccone L 2011 *Nat. Photon.* **5** 222
- [4] Xiang G Y, Guo G C 2013 *Chin. Phys. B* **22** 110601
- [5] Dobrzáński R D, Maccone L 2014 *Phys. Rev. Lett.* **113** 250801
- [6] Correa L A, Palao J P, Alonso D, Adesso G 2014 *Sci. Rep.* **4** 3949
- [7] Rónagel J, Abah O, Schmidt-Kaler F, Singer K, Lutz E 2014 *Phys. Rev. Lett.* **112** 030602
- [8] Lostaglio M, Jennings D, Rudolph T 2015 *Nat. Commun.* **6** 6383
- [9] Plenio M B, Huelga S F 2008 *New J. Phys.* **10** 113019
- [10] Li C M, Lambert N, Chen Y N, Chen G Y, Nori F 2012 *Sci. Rep.* **2** 885
- [11] Huelga S F, Plenio M B 2013 *Contemp. Phys.* **54** 181
- [12] Baumgratz T, Cramer M, Plenio M B 2014 *Phys. Rev. Lett.* **113** 140401
- [13] Yuan X, Zhou H, Cao Z, Ma X 2015 *Phys. Rev. A* **92** 022124
- [14] Du S, Bai Z, Qi X 2015 *Quantum Inf. Comput.* **15** 1307
- [15] Winter A, Yang D 2016 *Phys. Rev. Lett.* **116** 120404
- [16] Chitambar E, Streltsov A, Rana S, Bera M N, Adesso G, Lewenstein M 2016 *Phys. Rev. Lett.* **116** 070402
- [17] Chitambar E, Hsieh M H 2016 *Phys. Rev. Lett.* **117** 020402
- [18] Girolami D, Yadin B 2017 *Entropy* **19** 124
- [19] Datta A, Shaji A, Caves C M 2008 *Phys. Rev. Lett.* **100** 050502
- [20] Lanyon B P, Barbieri M, Almeida M P, White A G 2008 *Phys. Rev. Lett.* **101** 200501
- [21] Dakić B, Lipp Y O, Ma X S, Ringbauer M, Kropatschek S, Barz S, Paterek T, Vedral V, Zeilinger A, Brukner C, Walther P 2012 *Nat. Phys.* **8** 666
- [22] Ma J, Yadin B, Girolami D, Vedral V, Gu M 2016 *Phys. Rev. Lett.* **116** 160407
- [23] Maziero J, Guzman H C, Céleri L C, Sarandy M S, Serra R 2010 *Phys. Rev. A* **82** 012106
- [24] Sun Y, Mao Y Y, Luo S L 2017 *Europhys. Lett.* **118** 60007
- [25] Hou J X, Liu S Y, Wang X H, Yang W L 2017 *Phys. Rev. A* **96** 042324
- [26] Fanchini F F, Werlang T, Brasil C A, Arruda L G E, Caldeira A O 2010 *Phys. Rev. A* **81** 052107
- [27] Mazzola L, Piilo J, Maniscalco S 2010 *Phys. Rev. Lett.* **104** 200401
- [28] Hu Z D, Wang J C, Zhang Y X, Zhang Y Q 2014 *J. Phys. Soc. Jpn.* **83** 114004
- [29] Hu Z D, Zhang Y X, Zhang Y Q 2014 *Quantum Inf. Process.* **13** 1841
- [30] Xu J S, Xu X Y, Li C F, Zhang C J, Zou X B, Guo G C 2010 *Nat. Commun.* **1** 7
- [31] Luo D W, Lin H Q, Xu J B, Yao D X 2011 *Phys. Rev. A* **84** 062112
- [32] Li Y C, Lin H Q, Xu J B 2012 *Europhys. Lett.* **100** 20002
- [33] Yang Y, Wang A M 2014 *Chin. Phys. B* **23** 020307
- [34] Yang Y, Wang A M 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 130305 (in Chinese) [杨阳, 王安民 2013 物理学报 **62** 130305]
- [35] Bromley T R, Cianciaruso M, Adesso G 2015 *Phys. Rev. Lett.* **114** 210401
- [36] Yu X D, Zhang D J, Liu C L, Tong D M 2016 *Phys. Rev. A* **93** 060303
- [37] Hu M L, Fan H 2017 *Phys. Rev. A* **95** 052106
- [38] Hu M L, Shen S Q, Fan H 2017 *Phys. Rev. A* **96** 052309
- [39] Silva I A, Souza A M, Bromley T R, Cianciaruso M, Marx R, Sarthour R S, Oliveira R S, Franco R L, Glaser S J, de Azevedo E R, Soares-Pinto D O, Adesso G 2016 *Phys. Rev. Lett.* **117** 160402
- [40] Hu M L, Fan H 2016 *Sci. Rep.* **6** 29260
- [41] Yang L W, Xia Y J 2016 *Chin. Phys. B* **25** 110303
- [42] Yang L W, Han W, Xia Y J 2018 *Chin. Phys. B* **27** 040302
- [43] Zhao M J, Ma T, Ma Y Q 2018 *Sci. China: Phys. Mech. Astron.* **61** 020311
- [44] Gao D Y, Gao Q, Xia Y J 2017 *Chin. Phys. B* **26** 110303
- [45] Qiu L, Wang A M 2011 *Phys. Scr.* **84** 045021
- [46] Cheng W W, Liu J M 2009 *Phys. Rev. A* **79** 052320
- [47] Hu M L, Fan H 2010 *Phys. Lett. A* **374** 3520
- [48] Ollivier H, Zurek W H 2001 *Phys. Rev. Lett.* **88** 017901
- [49] Hu Z D, Wei M S, Wang J C, Zhang Y X, He Q L 2018 *J. Phys. Soc. Jpn.* **87** 054002

Correlation and coherence for two-qubit system coupled to XY spin chains*

Yang Yang^{1)†} Wang An-Min²⁾ Cao Lian-Zhen¹⁾ Zhao Jia-Qiang¹⁾ Lu Huai-Xin¹⁾

1) (Shandong Provincial Key Laboratory of Multi-Photon Entanglement and Manipulation, Department of Physics and Optoelectronic Engineering, Weifang University, Weifang 261061, China)

2) (Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

(Received 25 April 2018; revised manuscript received 20 May 2018)

Abstract

Quantum coherence has played a decisive role in quantum information processing. On the other hand, quantum correlation can be considered as a powerful resource for delivering quantum information. Both quantum coherence and quantum correlation may occur in an information propagating process, which challenges us to understand the relationship between coherence and correlation. This is also an important procedure for physicists to know the features of quantum resources. Any quantum system interacting with its surrounding environment will destroy the quantum coherence and fail to fulfil any task of delivering quantum information. In this sense, studying the dynamics of quantum correlation and quantum coherence is very fascinating. In this paper, we investigate the dynamics of the quantum correlation and quantum coherence for two central qubits coupled to their own spin baths modeled by the XY spin chain with Dzyaloshinsky-Moriya interaction. We employ the quantum discord to characterize the quantum correlation, and use the relative entropy to measure quantum coherence. In this way the evolution law of the quantum discord and the relative entropy of quantum coherence of two-qubit system are derived, and the evolution law depends not only on the Dzyaloshinsky-Moriya interaction, the anisotropy parameter and the total number of spin chain sites, but also on the coupling strength between the central spin and its spin chain. Our findings are as follows. Firstly, we find that near the critical point of spin chain the quantum coherence abruptly changes, which can be used to detect the existence of quantum phase transition. Secondly, at the critical point, the relative entropy of quantum coherence is the same as that of classical correlation when time $t < t_0$, and it is the same as that of quantum discord when time $t > t_0$. At time t_0 , the sudden transition from quantum discord to classical correlation occurs. All in all, the relative entropy of quantum coherence reflects the behaviors of classical correlation and quantum discord for times $t < t_0$ and $t > t_0$, respectively, which is caused by the change of the optimal basis for quantum discord. Thirdly, the dynamics of quantum correlation and quantum coherence keep invariant under the scaling variation of the total number of spin chain sites and the coupling strength. Moreover, we find that all the Dzyaloshinsky-Moriya interactions and the anisotropy parameters, as well as the coupling strengths will enhance the decay of quantum coherence and quantum correlation, while they have no obvious effect on the relationship between dynamics of coherence and correlation. The above discussion reveals some new features of quantum coherence and quantum correlation, which may be useful in further developing quantum information theory.

Keywords: relative entropy of quantum coherence, quantum correlation, XY spin, Dzyaloshinsky-Moriya interaction

PACS: 03.67.Mn, 03.65.Ud, 03.65.Yz

DOI: 10.7498/aps.67.20180812

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11404246) and the Shandong Provincial Natural Science Foundation, China (Grant No. ZR2017MF040).

† Corresponding author. E-mail: yangyang@mail.ustc.edu.cn