

非均匀磁场和杂质磁场对自旋 1 系统量子关联的影响

秦猛 李延标 白忠

Effects of inhomogeneous magnetic field and magnetic impurity on the quantum correlation of spin-1 system

Qin Meng Li Yan-Biao Bai Zhong

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 030301 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.030301

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.030301>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I3>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

离轴高斯涡旋光束的深聚焦特性

[Tight focusing properties of off-center Gaussian vortex beams](#)

物理学报.2014, 63(21): 214202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.214202>

高阶邦加球上柱矢量光束的变换

[Conversion of cylindrical vector beams on the higher-order Poincaré sphere](#)

物理学报.2014, 63(15): 154203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.154203>

梯度负折射率介质中高斯光束传输特性的研究

[Propagation properties of Gaussian beam in gradient negative index of refraction material](#)

物理学报.2014, 63(10): 104205 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.104205>

基于 Metasurface 的柱矢量光束的产生

[Generation of cylindrical vector beams based on metasurface](#)

物理学报.2014, 63(9): 094203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.094203>

涡旋光束在反射中的正交偏振特性研究

[Cross polarization effects of vortex beam in reflection](#)

物理学报.2013, 62(17): 174202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.174202>

非均匀磁场和杂质磁场对自旋1系统 量子关联的影响*

秦猛^{1)2)†} 李延标²⁾ 白忠²⁾

1)(南京大学物理学院, 南京 210093)

2)(解放军理工大学理学院, 南京 211101)

(2014年8月18日收到; 2014年9月12日收到修改稿)

通过负值度和测量诱导的扰动, 研究了非均匀磁场和杂质磁场对自旋为1的Heisenberg系统量子关联的影响. 研究发现非均匀磁场的增加会降低纠缠, 但也可用来产生纠缠, 并且会提高临界非线性作用 K_c 的值, 测量诱导的扰动的临界磁场要高于负值度的临界磁场, 而且测量诱导的扰动不会随着非线性作用 $|K|$ 的减小而消失, 它能全面反映量子关联的存在. 研究还发现, 不同杂质磁场对测量诱导的扰动的影响彼此间无交叉. 杂质磁场下, 相互作用 $|J|$ 必须小于非线性作用 $|K|$ 才会有纠缠存在, 但是测量诱导的扰动却可以在相互作用 $|J|$ 大于非线性作用 $|K|$ 时依然存在, $|J|$ 与 $|K|$ 相同时只是测量诱导的扰动的最小取值点. 此外, 系统粒子数目对量子关联也具有重要影响.

关键词: 量子关联, 自旋1系统, 负值度, 非均匀磁场和杂质磁场

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

DOI: 10.7498/aps.64.030301

1 引言

20世纪80年代以来, 人们将量子力学基本原理运用到信息论和计算机科学中, 产生了一门新兴前沿交叉学科——量子信息学^[1], 它既有着比经典信息学更加优越和丰富的特性, 又有潜在的巨大应用前景, 使其成为当前国际、国内研究最活跃和最重要的课题之一. 2012年度诺贝尔物理学奖就因“在实验方法上的基础性突破, 使得单量子操作和单量子测量成为可能”颁给了法国物理学家Serge Haroche和美国物理学家David Wineland, 这两位科学家的开创性工作让人们向着研制具有超越经典运算速度的量子计算机迈出了坚实的一步.

在完成量子信息处理任务的过程中, 作为一种物理资源的纠缠扮演着非常重要的角色, 纠缠

的概念源于Einstein, Podolsky, Rosen三人^[2]于1935年提出的“EPR佯谬”思想实验中所使用的一种特殊量子态, 量子通信和量子计算之所以能够实现诸多经典方法所不能完成的任务^[3-5], 很大程度上都是因为纠缠的存在, 因此纠缠态的制备、操控、刻画、传输等方面的研究也自然是量子信息学研究的热点领域^[6-11]. 但是在研究的过程中, 人们也注意到, 对于很多的不含纠缠的态, 依然存在有非经典的关联, 并且可用于量子信息处理. 比如确定性的单比特量子计算模型^[12], 可以用来实现指数加速, 其中却几乎没有纠缠, 该模型之所以能够实现量子加速算法, 是因为其中有另一个表征量子关联的物理量QuantumDiscord(QD)^[13]不为零且与量子效率成比例, 即QD在量子计算中起到了关键作用, 这一观点也得到了实验的验证^[14]. 还有研究表明在Grover搜索算法中, 单纯用经典的方法没法

* 国家自然科学基金(批准号: 11035001, 11375086, 11105079, 10975072)、国家重点基础研究发展计划(批准号: 2010CB327803, 2013CB834400)、中国科学院知识创新工程重大项目(批准号: KJCX2-SW-N02)、高等学校博士学科点专项科研基金(批准号: 20100091110028)和解放军理工大学预研基金资助的课题.

† 通信作者. E-mail: qrainm@gmail.com

完成量子任务,但在应用量子方法时量子纠缠却并非是完全必要的^[15].这些都说明纠缠并非是唯一不同于经典情形的量子特性,也不是量子信息处理任务中惟一可利用的基本资源^[16],纠缠只刻画了量子关联中很特殊的一部分,而不是所有的量子关联.但由于QD的计算涉及到最优化投影测量,即使对两量子比特的态,QD也不存在解析解.数学上已经证明,到目前为止,仅对一些特殊的态可以解析计算出QD^[17].因此,QD非常不易于对各类系统进行计算.

Luo^[18]提出,如果一维正交局域测量能够保证复合体系的两个约化密度算符在测量后保持不变,那么测量后的量子态与原始态之间是最接近的,二者之间的交互信息量之差 Measurement-induced disturbance(MID)必然可以用来度量存在于原始量子态中的量子关联.由于MID易于计算,作为度量量子关联的一种实用方法得到了广泛的关注.比如Zhang等^[19,20]研究了自旋1/2模型以及有自旋-轨道耦合的自旋模型中的MID和其他度量方法之间的关系,并与量子纠缠进行了对比. Shen等^[21]研究了包含内禀退相干的XY模型中的MID,发现MID有周期性的退相干特性.

已经有文献说明^[22],我们可以用自旋大于1/2的磁性分子作量子存储或者量子编码,所以高自旋系统中量子关联的研究对于量子计算的实现富有意义.最近Guo等^[23]研究了自旋为1的一维光学晶格链中的量子关联,发现MID较纠缠更为强壮,MID可以探测量子相变的临界点等特性.但是他们的研究限定于磁场是均匀的,没有考虑到更一般的非均匀磁场或者杂质磁场对量子关联的影响,而这是非常重要的一种实际情形,所以我们将对包含非均匀磁场和杂质磁场的自旋为1的Heisenberg系统中的量子关联进行研究.除此之外,我们还会讨论粒子数目对量子关联的影响.

2 负值度和测量诱导的扰动介绍

Vidal等^[24]在2002年提出混合纠缠可以用负值度(Negativity)来度量,它是一个操作性好并易于计算的两体混和态的纠缠度量方法,是Peres-Horodeckis可分判据导出的一种自然纠缠度,系统的两体纠缠负值度(N)的定义为

$$N(\rho) = (\|\rho^{TA}\|_1 - 1)/2, \quad (1)$$

这里, ρ^{TA} 代表密度矩阵 ρ 在希尔伯特空间对 A 系统进行部分转置, 下标 1 表示矩阵的第一类范数, 上式也等于 ρ^{TA} 所有负本征值绝对值之和, 据此可对系统中任一粒子进行部分转置, 然后计算其负本征值, 即可得到相应的负值度表达式.

下面介绍测量诱导的扰动概念, 在量子信息中, 我们可以使用希伯尔空间来表示两体系统的总关联. 如果该系统的密度矩阵为 ρ , 那么其互信息为

$$I(\rho) = \sum_{i=A,B} S(\rho_i) - S(\rho), \quad (2)$$

其中 ρ_i 表示 A 或者 B 系统的约化密度矩阵, $S(\rho) = -\text{Tr}(\rho \log_2 \rho)$ 为冯诺依曼熵.

对于一个确定的量子态, 以及和该量子态最接近的经典态 $\Pi\rho$, 二者之间互信息的差值即为由量子测量所导致的距离, 即测量诱导的扰动^[18]

$$MID(\rho) = I(\rho) - I[\Pi\rho], \quad (3)$$

其中 $\Pi\rho = \sum_{i,j} (\Pi_i^A \otimes \Pi_i^B) \rho (\Pi_i^A \otimes \Pi_i^B)$ 是对一组完备测量基 $\{\Pi_i^A\}$ 和 $\{\Pi_i^B\}$ 测量得到的经典量子态.

3 非均匀磁场对量子关联的影响

3.1 理论模型

处于非均匀磁场中自旋为1的包含非线性作用的Heisenberg XXX链的哈密顿量为

$$H = \sum_{i=1}^L J(\mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_{i+1}) + K(\mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_{i+1})^2 + (B+b)S_i^z + (B-b)S_{i+1}^z, \quad (4)$$

其中 J 为粒子间的线性相互作用, K 为粒子间的非线性相互作用, B 和 b 分别为均匀和非均匀磁场, $S^\alpha (\alpha = x, y, z)$ 为自旋1算子, 其三个分量为

$$S_i^x = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad S_i^y = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix},$$

$$S_i^z = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

经过简单计算, 可以得到两粒子系统的哈密顿量的矩阵形式为

$$H = \begin{bmatrix} J+K+2B & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K+B-b & 0 & J & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -J+2K-2b & 0 & J-K & 0 & K & 0 & 0 & 0 \\ 0 & J & 0 & K+B+b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J-K & 0 & 2K & 0 & J-K & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K-B-b & 0 & J & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K & 0 & J-K & 0 & -J+2K+2b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J & 0 & K-B+b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J+K-2B \end{bmatrix}. \quad (6)$$

在热平衡条件下系统的态可写为 $\rho = Z^{-1} \exp(-\beta H)$, Z 为系统的配分函数, $Z = \text{Tr}(\exp(-\beta H))$, $\beta = 1/k_B T$, k_B 为玻尔兹曼常数, 为简单起见, 一般令 $k_B = 1$. 在系统本征值和本征态的基础上, 我们可以写出系统的密度矩阵表示

$$\rho = \frac{1}{Z} \sum_i e^{-\beta E_i} |\psi_i\rangle\langle\psi_i|. \quad (7)$$

利用矩阵对角化的方法可以求出 (6) 式相应的本征值和本征态, 在此基础上可得密度矩阵, 但是对该系统, 其本征值和本征态的表达式特别繁琐, 这里不拟给出密度矩阵的具体表达式, 以下讨论将主要是数值模拟结果.

3.2 结果和讨论

图 1 给出了负值度 N 和测量诱导的扰动 MID 在不同的非均匀磁场条件下随着相互作用 J 的变化关系. 由图 1(a), 在非均匀磁场为 0 时, 只有相互作用系数 J 达到 -0.4 时才有纠缠, 随着 b 值的增加, 临界相互作用系数 J_c 会减小, 但是随着 b 进一步增大, 临界 J_c 消失, 比如 $b = 1.8$ 时, 纠缠的变化是从 0.256 减小到 0.069, 然后再增加到 0.228. 当然, 总体上随着 b 的增加, 纠缠的最大值是不不断减小的,

但是, 纠缠能够出现在一些原本不存在的区域, 这就表明 b 的作用一方面是抑制纠缠的峰值, 另一方面是诱导纠缠产生. 由图 1(b) 可见, 在 $b = 0$ 时, 测量诱导的扰动并不为 0, 这就说明此时是有量子关联存在, 但是负值度这种度量纠缠的方法不能完全表征出来. 随着 b 的增加, 测量诱导的扰动的峰值也在下降, 类似于纠缠的变化, b 的增加能够使得某些区域原本较小的测量诱导的扰动变大. 从两图中还可看出, 随着 b 值的增加, 量子关联改变的临界点在 $J = -0.5$ 处.

图 2 表明, 负值度 N 和测量诱导的扰动 MID 基本都是随着非线性作用 $|K|$ 的减小而减小. 由图 2(a) 可见, 适当增加非均匀磁场会提高临界非线性作用 K_c 的值. 如果磁场增加到 1.2 和 3, 纠缠在 $K = -0.2$ 时取最小值, 此时有 $J = K = -0.2$, 这表明非均匀磁场的增加促使此处变作最小纠缠取值点. 类似的特性也在图 2(b) 中体现, 不同的是图 2(b) 中的测量诱导的扰动不会随着 $|K|$ 的减小而消失, 亦即测量诱导的扰动更能全面的反映量子关联的存在. 图 2(b) 中的插图给出了 $b = 3$ 时, 测量诱导的扰动在 $-0.5 < K < 0$ 时的变化图, 从中也可看出当 $K = -0.2$ 时, 量子关联取最小值 0.

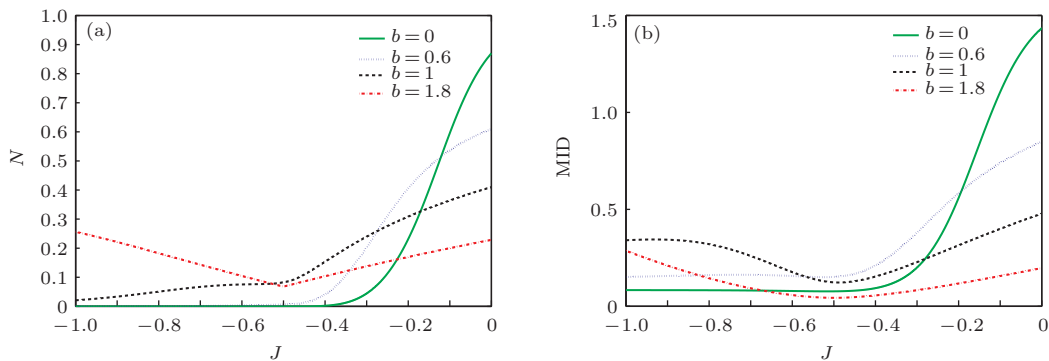


图 1 (网刊彩色) 不同非均匀磁场下量子关联随相互作用 J 的变化 ($K = -0.5, B = 0.5, T = 0.2$)

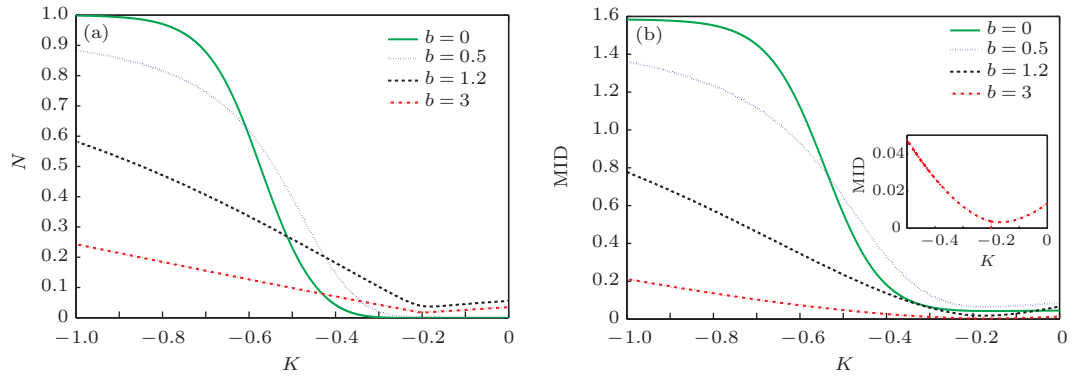


图2 (网刊彩色) 不同非均匀磁场下量子关联随非线性作用 K 的变化 ($J = -0.2, B = 0.5, T = 0.2$)

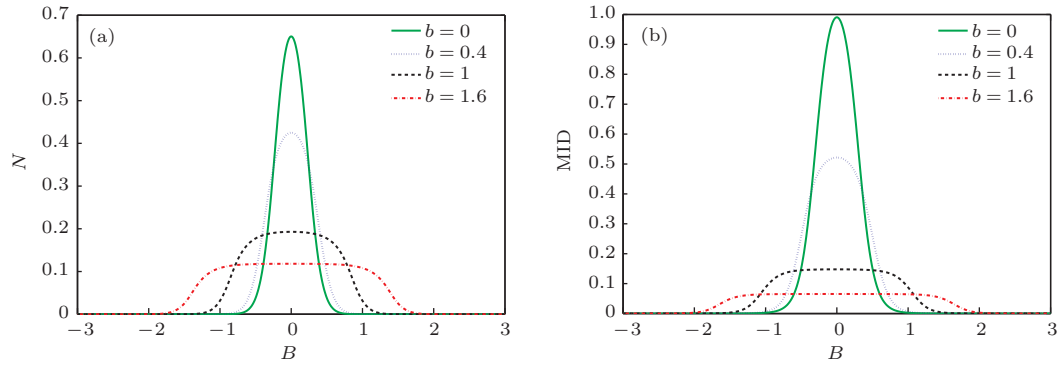


图3 (网刊彩色) 不同非均匀磁场下量子关联随均匀磁场 B 的变化 ($J = -0.1, K = -0.3, T = 0.2$)

图3表明, 负值度 N 和测量诱导的扰动 MID 关于均匀磁场 B 的变化是对称的. 随着非均匀磁场的增加, 纠缠和测量诱导的扰动的峰值会下降, 但是二者在均匀磁场下的存在区域却会增大, 定义量

子关联消失时的磁场为临界磁场, 我们能够发现测量诱导的扰动的临界磁场要大于负值度的临界磁场, 这进一步反映了测量诱导的扰动能够体现纠缠不能反映的那部分量子关联.

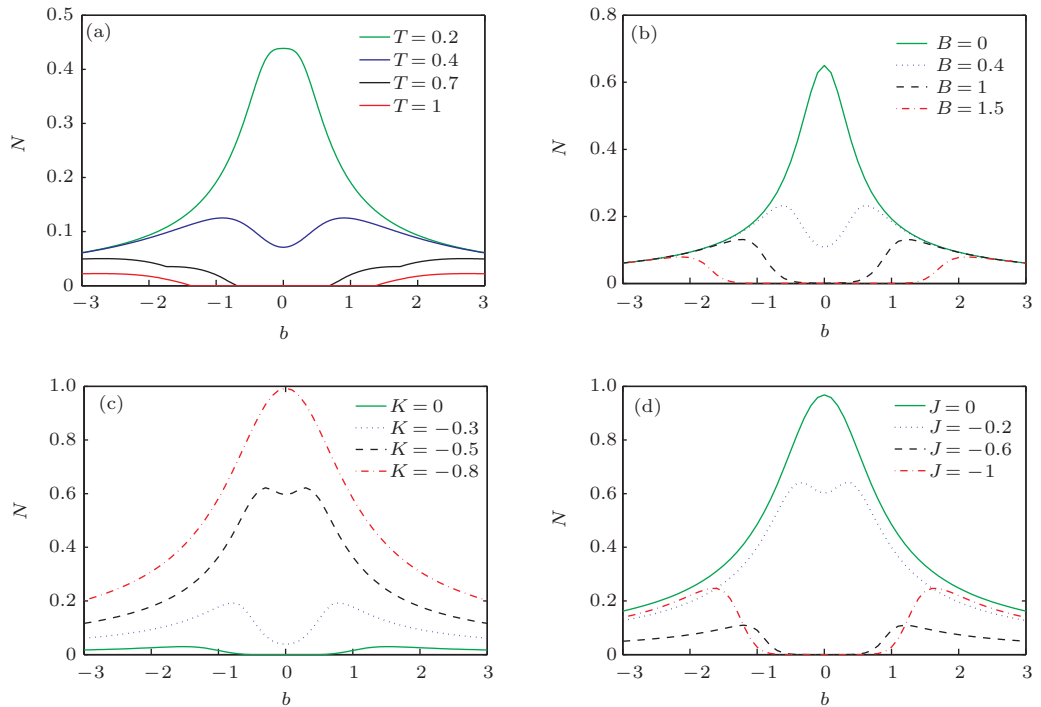


图4 (网刊彩色) 不同外界条件下负值度随非均匀磁场 b 的变化 (a) $J = -0.1, K = -0.3, B = 0.2$; (b) $J = -0.1, K = -0.3, T = 0.2$; (c) $J = -0.1, B = 0.5, T = 0.2$; (d) $K = -0.6, B = 0.5, T = 0.2$

图4给出了不同的外界条件下, 负值度 N 随着非均匀磁场 b 的变化. 从图4(a)发现, 随温度增加, 纠缠下降很快. 在 T 较小时, $b = 0$ 点为纠缠峰值, 但是随着温度的增加, $b = 0$ 处不再是纠缠峰值点, 并且温度越高, 纠缠越低, 能够产生纠缠的临界非均匀磁场也越大. 从图4(b)可见, 随着均匀磁场的增加, 中心区域纠缠在不断降低, 纠缠曲线最后会汇聚成一条线. 从图4(c)看出, 纠缠随着 $|K|$ 的增加不断增加. 图4(d)表明, 在 $|J| = |K|$ 时, 纠缠峰值最小, $|J| - |K|$ 的差值越大, 纠缠越大.

图5给出了不同的外界条件下, 测量诱导的扰动MID随着非均匀磁场 b 的变化. 对比图4我们发现, MID也会随着温度的增加而逐渐下降, 不

同之处在于MID的峰值点始终在 $b = 0$ 处. 而且MID也会出现所有的曲线都汇聚成一条线的情形. 随着非线性作用的增加, MID也在增加, 并且在 $K = -0.5$ 时, MID在 $b = 0$ 处出现峰值. 比较图5(d)和图4(d)可见, 在 b 为0时, MID并不为0, 而是仍有一定的取值, 只有非均匀磁场的增加, 才会让MID减小为0.

图6给出了负值度 N 和测量诱导的扰动MID在不同的非均匀磁场条件下随着温度 T 的变化关系. 图6(a)表示, $b = 0$ 时, N 是从0增加到最大, 然后减小为0, 相比于其他 b 值, $b = 0$ 时对应的纠缠最小, 随着 b 的增加, 在低温时能够获得的纠缠值也在变化. 我们注意到, 虽然过高的 b 值会导致

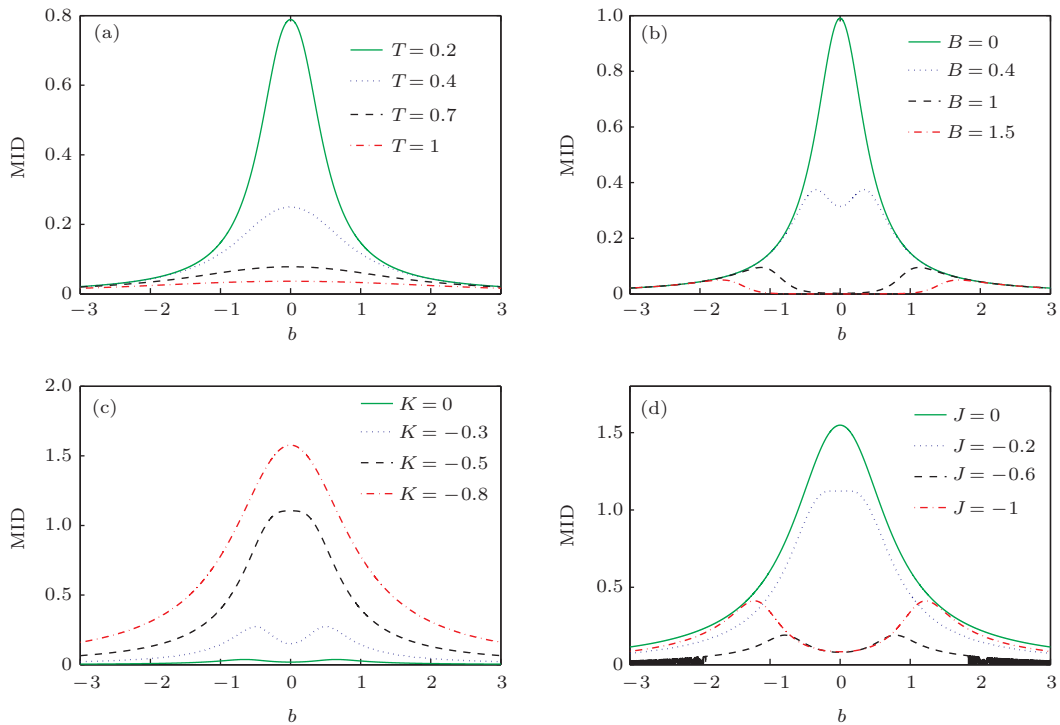


图5 (网刊彩色) 不同外界条件下测量诱导的扰动随非均匀磁场 b 的变化 (a) $J = -0.1, K = -0.3, B = 0.2$; (b) $J = -0.1, K = -0.3, T = 0.2$; (c) $J = -0.1, B = 0.3, T = 0.2$; (d) $K = -0.6, B = 0.5, T = 0.2$

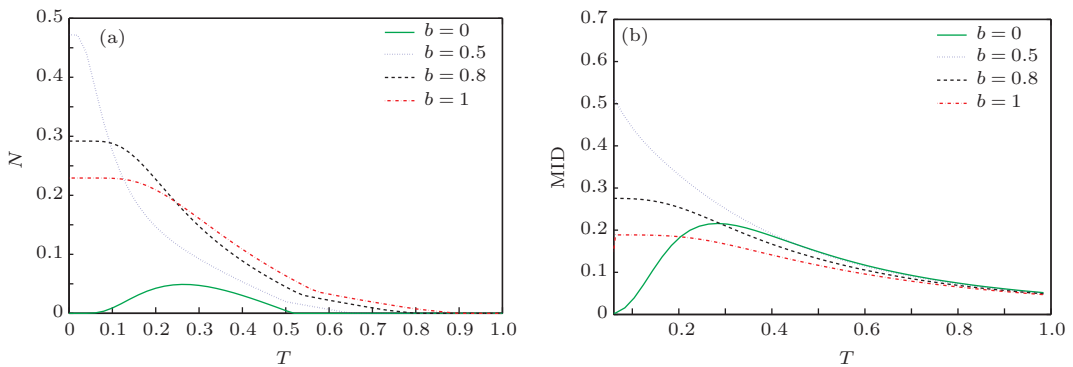


图6 (网刊彩色) 不同非均匀磁场下量子关联随温度 T 的变化 ($J = -0.2, K = -0.4, B = 0.5$)

纠缠下降, 但是纠缠存在的临界温度 T_c 却会增加, 也即 b 越大, T_c 越大. 图 6(b) 表明, MID 不会随着温度的增加而减小为 0, 是始终存在的渐近衰减函数, 这再一次表明 MID 可以很好的表征系统中全部的量子关联.

4 杂质磁场对量子关联的影响

4.1 理论模型

处于杂质磁场中且包含非线性作用的两粒子 Heisenberg XXX 链的哈密顿量可以写为

$$H = J(\mathbf{S}_1 \cdot \mathbf{S}_2) + K(\mathbf{S}_1 \cdot \mathbf{S}_2)^2 + BS_1^z. \quad (8)$$

系统参数和 (4) 式中一致. 其中 B 为加在第一个粒子上的磁场, 第二个粒子不加磁场, 此即为杂质磁场. 由于系统的对称性, 保证无论磁场加载哪个粒

子上都是一样的结果. 按照第二节中的方法, 我们也可计算得到此模型的数值结果.

4.2 结果和讨论

图 7 给出了负值度 N 和测量诱导的扰动 MID 在不同的杂质磁场 B 下随着相互作用 J 的变化关系. 从图 7(a) 可见, 相互作用 J 必须增加到一定数值时才会有纠缠产生. 我们注意到 $B = 0$ 时, J 的临界值约为 -0.4383 , 随着 B 的增加, J 的值分别为 -0.5245 , -0.7 . 可见, 随着杂质磁场的增加, 临界 J_c 的绝对值也在增加. 从图 7(b) 可见, 不存在产生 MID 的 J_c 值, 亦即 MID 一直存在, 这再一次表明测量诱导的扰动比纠缠更能体现出全部的量子关联. 我们还注意到, 随着杂质磁场的增加, 负值度和测量诱导的扰动整体值都呈下降趋势. 而且各个杂质磁场对量子关联的影响彼此间没有交叉.

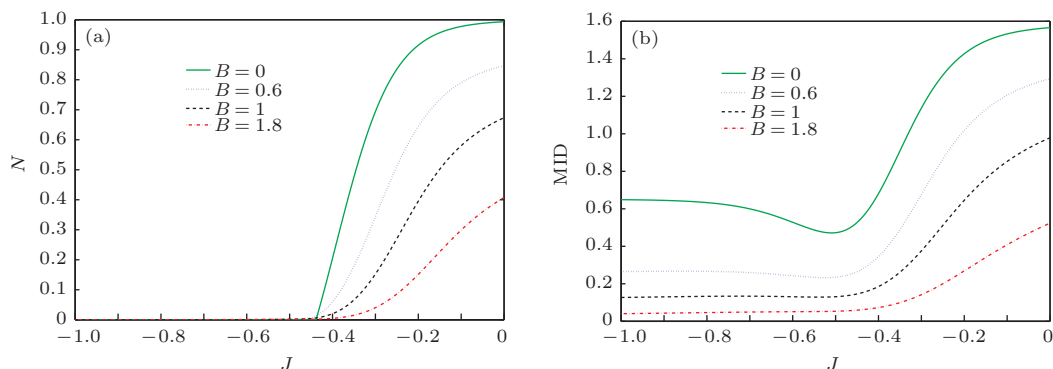


图 7 (网刊彩色) 不同杂质磁场下量子关联随相互作用 J 的变化 ($K = -0.5, T = 0.2$)

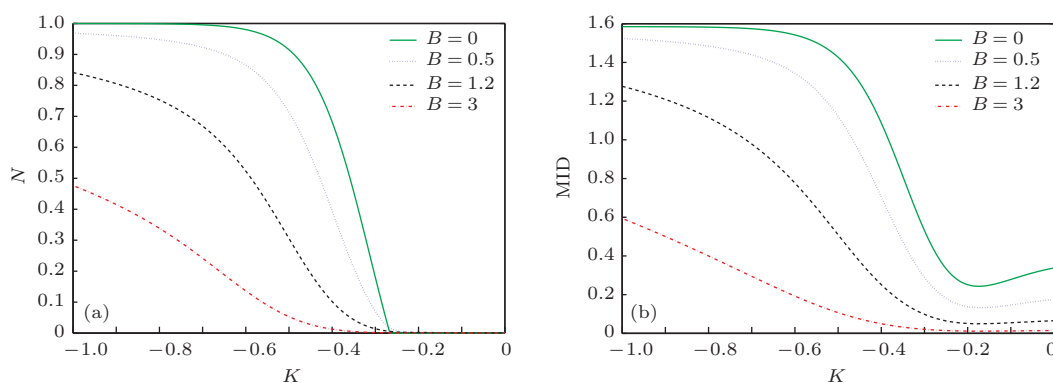


图 8 (网刊彩色) 不同杂质磁场下量子关联随非线性作用 K 的变化 ($J = -0.2, T = 0.2$)

图 8 表明, 在杂质磁场条件下, 负值度 N 和测量诱导的扰动 MID 也是随着非线性作用 $|K|$ 的减小而减小, 在杂质磁场增加的情况下, N 和 MID 是不断降低的. 和图 7(a) 类似, 图 8(a) 中的非线性

作用也存在临界 K_c 值, 也即负值度为 0 处. 对于图 8(b), 测量诱导的扰动随着杂质磁场的增加, 整体数值在不断下降, 并且随着 K 的变化趋势是在从 $K = -0.2$ 处有所反弹直到逐渐趋近于 0.

图9给出了不同的外界条件下, 负值度 N 随着杂质磁场 B 的变化. 我们看到, N 随着温度的增加逐渐减小, 并且会很快趋近0. 由图9(b), N 是随着 $|K|$ 的增加而逐渐增加, 并且增加的幅度很快.

图9(c)表明, N 随着 B 的变化, J 必须小于某个值, 即此时的 $|K|$ 取值, 如果 $|J|$ 的取值从0增加到 $|K|$ 在此时的取值0.4, N 会越来越小, 只要 $|J|$ 一旦大于 $|K|$, 再大的 $|J|$ 值都不会产生纠缠.

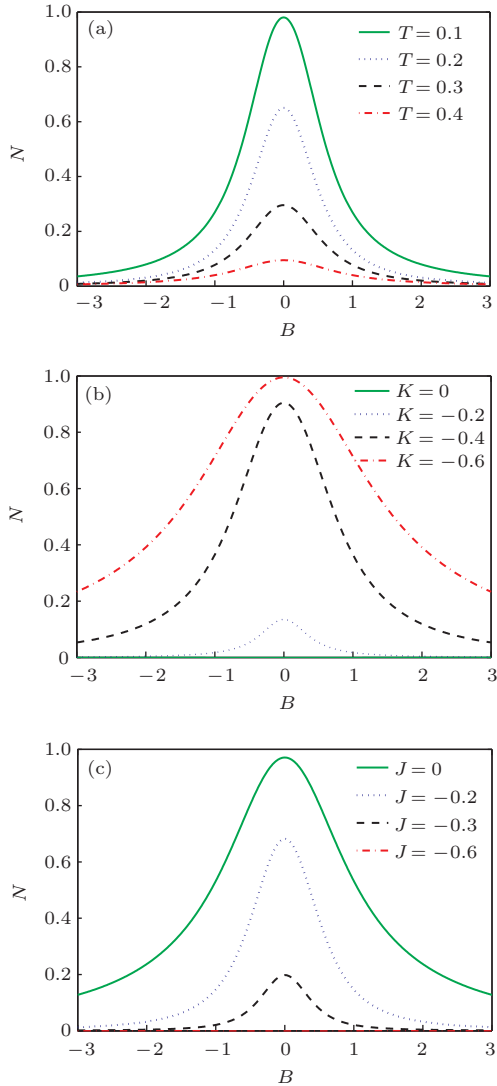


图9 (网刊彩色) 不同外界条件下负值度随杂质磁场 B 的变化 (a) $J = -0.1, K = -0.3$; (b) $J = -0.1, T = 0.2$; (c) $K = -0.4, T = 0.2$

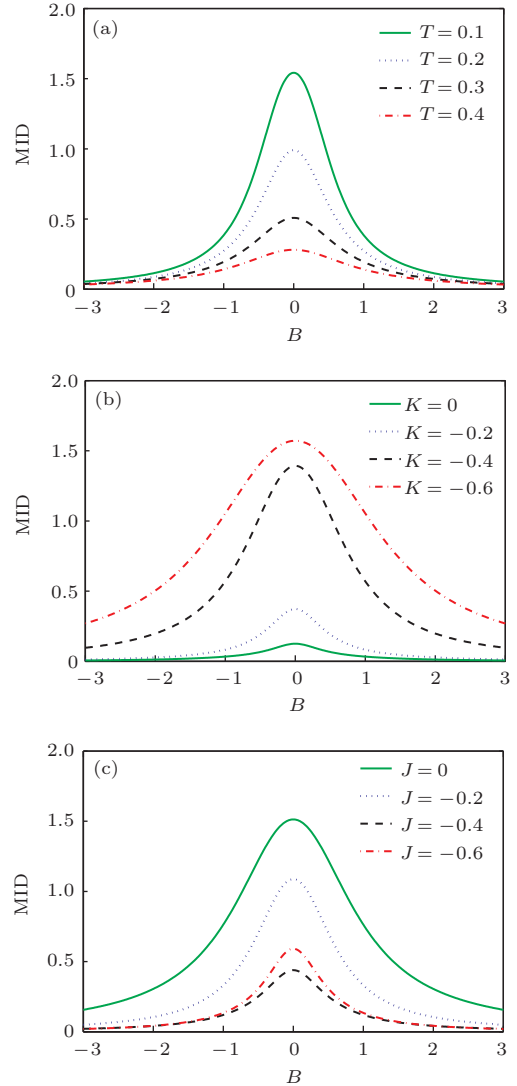


图10 (网刊彩色) 不同外界条件下测量诱导的扰动随杂质磁场 B 的变化 (a) $J = -0.1, K = -0.3$; (b) $J = -0.1, T = 0.2$; (c) $K = -0.4, T = 0.2$

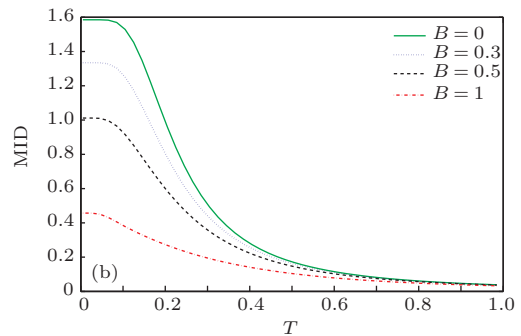
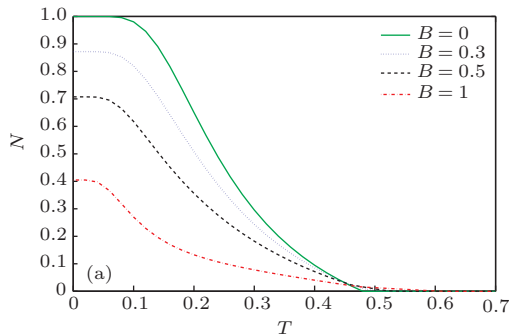


图11 (网刊彩色) 不同杂质磁场下量子关联随温度 T 的变化 ($J = -0.1, K = -0.3$)

图 10 给出了不同的外界条件下, 测量诱导的扰动 MID 随着杂质磁场 B 的变化关系. MID 随着温度和非线性作用的变化趋势和图 9 类似. 有意义的是图 10 (c), MID 首先是随着 $|J|$ 的增加而减小, 到临界 $|J_c|$ 值, 即此时 $|K|$ 的取值点, MID 取最小值, 之后, $|J|$ 值再增加, MID 能随之再次增加, 这一点有别于图 9 (c).

图 11 是负值度 N 和测量诱导的扰动 MID 在不同的杂质磁场条件下随着温度 T 的变化图. 由图 11 (a), 我们发现, 不同的 B 值具有不同的临界温度, B 为 0, 0.3, 0.5, 1 时对应的临界温度分别为 0.5, 0.51, 0.535, 0.62. 临界温度值随着 B 的增加不断增大. 由图 11 (b), 测量诱导的扰动随着温度的增加将无限趋近于 0, 但始终不为 0, 这和此前的研究结论是一致的.

5 多体系统中的量子关联

以上的研究主要是两个粒子的情形, 从以上研究可以看出, 非均匀和杂质磁场对系统中量子关联的影响是多方面的, 为了提高系统的量子关联, 需要恰当的组合系统参数. 那么, 如果系统不是这种两格点的体系, 而是多个格点所组成的多体系统, 量子关联随着粒子数目的变化会是怎样的呢?

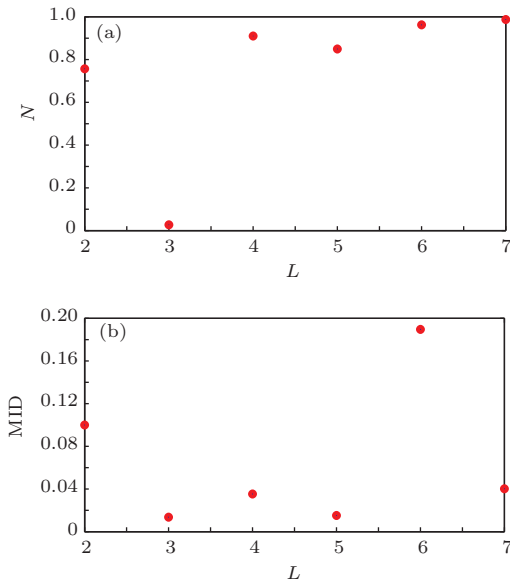


图 12 (网刊彩色) 量子关联随粒子数的变化 (a) $J = -0.065, K = -0.3, B = b = 0, T = 0.2$; (b) $J = -0.065, K = -0.3, B = b = 0, T = 3$

图 12 给出了系统包含 2—7 个粒子时量子关联随粒子数的变化情况. 图 12 (a) 是负值度随着粒子数目的变化图, 从中可见, 整体上随着粒子数目的

增加, 负值度也在增加, 但是在粒子数为 3, 5 时的纠缠较之前偶数粒子时的纠缠会下降, 不过, 在粒子数目达到 7 时的纠缠却比粒子数目为 6 时的纠缠大. 测量诱导的扰动 MID 也会随着粒子数目的增加而起伏变化. 以上可见粒子数目的多少对量子关联的大小有极大的影响. 在我们进行量子信息处理相关实验的时候, 要考虑到格点数目对量子关联的影响, 以便实验的顺利进行.

6 结 论

论文研究了两种不同情形的外界磁场对包含非线性作用的自旋为 1 的 Heisenberg 系统量子关联的影响, 结果表明: 负值度这种度量纠缠的方法不能完全表征量子关联, MID 更能全面的反映量子关联的存在. MID 不会像纠缠一样达到临界 K_c 就消失, 能够随着 $|J|$ 的增加而增加, 而且随着杂质磁场的增加, 临界 J_c 的绝对值也在增加, N 和 MID 都是随着非线性作用 $|K|$ 的减小而减小. MID 在两种磁场条件下都不会随着温度的增加而消失, 而是变作渐近衰减函数. 此外, 我们还给出了多体系统中量子关联变化的普遍性质. 我们的研究结果能够为认识多体物理体系中量子关联的特征以及理解测量诱导的扰动和纠缠之间的关系, 为量子信息处理相关实验的进行提供理论支持.

参考文献

- [1] Nielsen M A, Chuang I L 2000 *Quantum computation and quantum information* (Cambridge: Cambridge University Press)
- [2] Einstein A, Podolsky B, Rosen N 1935 *Phys. Rev.* **47** 777
- [3] Mattle K, Weinfurter H, Kwiat P G, Zeilinger A 1996 *Phys. Rev. Lett.* **76** 656
- [4] Kim Y H, Kulik S P, Shih Y 2001 *Phys. Rev. Lett.* **86** 1370
- [5] Deutsch D, Ekert A, Jozsa R, Macchiavello C, Popescu S S 1996 *Phys. Rev. Lett.* **77** 2818
- [6] Zhang G F, Li S S 2005 *Phys. Rev. A* **72** 034302
- [7] Zhang G F 2007 *Phys. Rev. A* **75** 034304
- [8] Li D C, Cao Z L 2008 *Eur. Phys. J. D* **50** 207
- [9] Jiang C L, Liu X J, Liu M W, Wang Y H, Peng Z H 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 170302 (in Chinese) [姜春蕾, 刘晓娟, 刘明伟, 王艳辉, 彭朝晖 2012 物理学报 **61** 170302]
- [10] Qin M, Bai Z, Li Y B, Lin S J 2011 *Opt. Commun.* **284** 3149
- [11] Mohammadia H, Akhtarshenas S J, Kheirandish F 2011 *Eur. Phys. J. D* **62** 439

- [12] Datta A, Shajj A, Caves C M 2008 *Phys. Rev. Lett.* **100** 050502
 [13] Ollivier H, Zurek W H 2001 *Phys. Rev. Lett.* **88** 017901
 [14] lanyon B P, Barbieri M, Almeida M P, White A G 2008 *Phys. Rev. Lett.* **101** 200501
 [15] Cui J, Fan H 2010 *J. Phys. A* **43** 045305
 [16] Zhou T, Long G L, Fu S S, Lsuo S L 2013 *Physics* **42** 544 (in Chinese) [周涛, 龙桂鲁, 傅双双, 骆顺龙 2013 物理 **42** 544]
 [17] Girolami D, Adesso G 2011 *Phys. Rev. A* **83** 052108
 [18] Luo S L 2008 *Phys. Rev. A* **77** 022301
 [19] Zhang G F, Fan H, Ji A L, Jiang Z T, Abliz A Liu W M 2011 *Ann. Phys.* **326** 2694
 [20] Zhang G F, Jiang Z T 2011 *Ann. Phys.* **326** 867
 [21] Shen C H, Zhang G F, Fan K M, Zhu H J 2014 *Chin. Phys. B* **23** 050310
 [22] Qin M, Tian D P, Tao Y J 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 5395 (in Chinese) [秦猛, 田东平, 陶应娟 2008 物理学报 **57** 5395]
 [23] Guo J L, Wang L, Long G L 2013 *Ann. Phys.* **330** 192
 [24] Vidal G, Werner R F 2002 *Phys. Rev. A* **65** 032314

Effects of inhomogeneous magnetic field and magnetic impurity on the quantum correlation of spin-1 system*

Qin Meng^{1)2)†} Li Yan-Biao²⁾ Bai Zhong²⁾

1) (School of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

2) (College of Sciences, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China)

(Received 18 August 2014; revised manuscript received 12 September 2014)

Abstract

We investigate the effects of inhomogeneous magnetic field and magnetic impurity on the quantum correlation in spin-1 system by means of negativity and measurement-induced disturbance. Results show that the increase of the inhomogeneous magnetic field not only decreases entanglement, but also can induce the entanglement, and increases the value of critical nonlinear coupling K_c . The critical magnetic field for measurement-induced disturbance is higher than that for negativity, and the measurement-induced disturbance (MID) will not disappear with the decrease of nonlinear coupling $|K|$, so it can reveal all the properties of quantum correlation. Results also show that the effects of different magnetic impurity on MID are independent of each other. Under the magnetic impurity, the entanglement exists only if the couplings $|J|$ are less than the nonlinear couplings $|K|$, while there will be the MID when the couplings $|J|$ are greater than the nonlinear couplings $|K|$. It is just the minimum point for MID when $|J|$ equals to $|K|$. Moreover, the size of the Chain will influence the quantum correlation also.

Keywords: quantum correlation, spin-1 system, negativity, inhomogeneous magnetic field and magnetic impurity

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

DOI: 10.7498/aps.64.030301

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 11035001, 11375086, 11105079 and 10975072), the National Major State Basic Research and Development of China (Grant Nos. 2013CB834400 and 2010CB327803), the CAS Knowledge Innovation Project (Grant No. KJCX2-SW-N02), the Research Fund of Doctoral Point (Grant No. 20100091110028), and the Pre-research Foundation of PLA University of Science and Technology.

† Corresponding author. E-mail: qrainm@gmail.com