

二维自旋系统 aging 现象的数值模拟研究*

雷晓蔚^{1)†} 郑波²⁾ 应和平²⁾

1) 重庆文理学院物理与信息工程系, 重庆 402160)

2) 浙江大学浙江近代物理中心, 杭州 310027)

(2006 年 1 月 5 日收到, 2006 年 8 月 31 日收到修改稿)

应用动力学蒙特卡罗模拟方法, 对二维 Ising 模型和二维 XY 模型的 aging 现象展开数值研究. 系统在零外场条件下从高温无序相淬火到临界温度 T_c 时, 通过测量自关联函数 $A(t, t')$, 观察到二维 Ising 模型和二维 XY 模型的 aging 现象, 获得更精确的动力学临界指数 λ_c 和 z 的值. 特别是对二维 XY 模型, 当初始态为完全无序态时, 模拟结果证实存在关于标度行为的对数修正.

关键词: 蒙特卡罗模拟, 相变和临界行为, aging 现象

PACC: 7540M, 7540G, 7540D

1. 引 言

复杂系统非平衡态动力学中 aging 现象的研究是一个重要而有吸引力的课题. aging 行为与所取样本的热力学弛豫过程密切相关, 这是一个极其缓慢的动力学过程. 一种典型的情况是系统从一个高温完全无序态淬火到连续相变温度 $T = T_c$ 的动力学演化过程. 另一种情况是系统在一个突然的热扰动之后, 经历一个缓慢的恢复平衡的弛豫过程. 这些演化过程的动力学特征行为可由双时物理量, 如自关联函数 $A(t, t')$ 和响应函数 $R(t, t')$ 来揭示. aging 现象最初从玻璃类系统中发现, 随后在复杂无序系统中引起了广泛注意. 对铁磁系统, 过去对粗粒化 (coarsening) 阶段的动力学已有广泛研究^[1], 而 aging 现象没有得到足够关注^[2]. 由于远离平衡态动力学理论的发展^[3-5], 近年来, 典型相变系统中的 aging 现象引起了人们的高度注意.

动力学临界现象的特征是发散的关联时间和动力学标度行为. 在非平衡态, 一个特征量是空间关联长度, 由 $\xi(t) \sim t^{1/z}$ 给出, 这里的 t 是动力学弛豫时间, z 称为动力学临界指数. 实验表明, 大量表面看似不同的体系具有相同的临界指数值^[6-10], 这些临界指数把二级相变系统划分为不同普适类. 标度变

换不变性可以导出幂次行为, 还给出临界指数的标度关系. 过去人们认为这种标度行为只存在于长时动力学区域^[11], 然而 Janssen, Schaub 和 Schmittmann 应用重整化群方法, 发现在宏观短时区域也存在普适标度行为^[3]. 文献 [12, 13] 综述了短时临界动力学的研究成果. 计算临界指数的方法归纳起来大体有两种: 一是根据物理量的幂次行为计算, 另一种是由有限尺度标度行为计算. Zheng 等人在数值上证实, 在二维 XY 模型和完全阻挫 (fully frustrated) XY 模型中的动力学标度行为存在对数修正^[14]. 这种修正与自由涡旋有关, 而对 Ising 模型, 这种修正不存在.

近年来, 铁磁系统相变点附近的 aging 现象的研究取得重要进展^[2, 15-23]. 研究集中在自关联函数、响应函数和涨落耗散率等双时物理量上, 因为它们可以充分揭示系统的 aging 规律, 其标度行为具有普适性. 例如, 由于在相变点的关联时间发散, 而空间关联长度随时间按 $\xi(t) \sim t^{1/z}$ 增长, 所以双时自关联函数 $A(t, t')$ 作为 t 和 t' 的函数, 取一种标度不变形式 $A(t, t') \approx (t')^{-2\beta/\nu} F(\xi(t)/\xi(t'))$, 其中 β 和 ν 为静态临界指数. 换句话说, 除了标度因子 $(t')^{-2\beta/\nu}$ 外, $A(t, t')$ 只与 t 和 t' 时刻的空间关联长度的比值相关, 这便是所谓的 aging 现象. 研究者们利用蒙特卡罗模拟方法, 在临界点或以下 ($T \leq T_c$), 对二维、三维 Ising 模型进行了数值模拟^[18, 19], 通过

* 国家杰出青年科学基金 (批准号: 10325520) 和重庆市教育委员会科学技术研究项目基金 (批准号: KJ061208) 资助的课题.

† E-mail: leixiaowei@cqwu.net zheng@zimp.zju.edu.cn

数值方法定性地观察到 aging 现象.最近的解析研究发现,在自旋波近似下的 XY 模型中也存在 aging 行为^[20].对三维 XY 模型的模拟研究($T \leq T_c$)已有报道^[24].对二维 XY 模型在低温下($T < T_c$)的动力学特性最近也有研究进展^[25].本文将研究二维 Ising 模型从完全无序初态淬灭到临界点过程中自关联函数 $A(t, t')$ 的演化规律,得到比较精确的数值解和动力学临界指数.更重要地,对二维 XY 模型的临界动力学开展数值模拟研究,结果表明,在宏观短时区域也确实存在 aging 现象.关键是,对二维 XY 模型,临界动力学存在强的标度行为的对数修正,这种修正与低温下的修正形式不同.

下面介绍模拟选用的模型和物理量的标度行为,以及模拟计算的结果.

2. 模型和方法

许多磁性材料的临界性质可以用简单的 Ising 模型来描述:

$$-\frac{1}{kT}H = K \sum_{i,j} s_i s_j + h \sum_{i,j} s_i, \quad (1)$$

H 为哈密顿量, $K = J/kT$ 是约化耦合常数,其中 J 是相互作用常数, $s_i = \pm 1$ 表示置于每个格点上的 Ising 自旋变量, h 代表外磁场, i, j 代表最近邻求和.当 $h = 0$ 时,该模型的二级相变点即临界点的理论值为 $K_c = \ln(\sqrt{2} + 1)/2 = 0.4407\dots$.在二级相变点附近的临界区域,关联长度发散,相应地统计涨落趋于无穷大,所以点阵的微观细节不会影响体系的大范围性质,如幂次行为、临界指数等,因而具有临界普适性.本文只讨论 $h = 0$ 的情形下,二维 Ising 自旋系统的动力学临界行为.

同样,可以描述氦的超流状态的临界特性的 XY 模型也是十分重要的自旋系统.其哈密顿量为

$$-\frac{1}{kT}H = K \sum_{i,j} S_i \cdot S_j, \quad (2)$$

其中 $S_i = (S_{ix}, S_{iy})$ 是个可连续取向的平面单位矢量: $S_{ix}^2 + S_{iy}^2 = 1$. XY 模型在自旋空间具有连续转动不变性.在低温区,由于连续的简并基态的存在,导致软模的存在,正是这些软模的作用,使其相变图像有可能被改变.对二维 XY 模型,相变为 Kosterlitz-Thouless (KT) 型连续相变.在 KT 相变点附近,关联长度的发散比二级相变更快,取指数形式.对 $T < T_c$, 体系仍处于临界状态.一般文献报道,KT 相变温度

T_{KT} 在 0.89 和 0.90 之间^[26,27].

为了研究自旋系统的时间演化规律,认识其动力学临界行为,我们将开展对双时物理量自关联函数 $A(t, t')$ 的数值研究.自旋系统的双时自关联函数定义如下:

$$A(t, t') = \frac{1}{L^2} \sum_i S_i(t') \cdot S_i(t), \quad (3)$$

这里 $t > t'$, 通常称 t' 为等待时间, t 为观察时间. Ising 模型中的自旋变量 $S_i = \pm 1$, 是一个标量, 而 XY 模型中的 S_i 是个二维矢量.对于非平衡态, 记号 \dots 表示对微观初始状态和随机数的统计平均.在平衡态, 由于平移不变性, $A(t, t')$ 只与时间差 $t - t'$ 有关, 在非平衡态, 由于 aging 机理, $A(t, t')$ 依赖于时间比 t/t' , 以及可能的修正.

考虑初始处于高温态的二维自旋系统, 通过淬灭把它降温到临界点 T_c , 这是一个动力学 A 模型^[28]的弛豫过程.在临界点附近, 动力学标度形式可用重整化群方法导出, 而且可以推广到有限尺度体系^[4].对于足够大的点阵, Janssen 等人用级数展开得到 Ising 模型的 $A(t, t')$ 在临界点的幂次行为

$$A(t, t' = 0) \equiv A(t) \sim t^{-\lambda_c}, \quad (4)$$

其中 λ_c 是与初始条件相关的动力学临界指数.当等待时间 t' 和观察时间 t 都很大时(即 $1 \ll t' \sim t$), $A(t, t')$ 遵循下面的标度行为:

$$A(t, t') \approx (t')^{-2\beta/\nu} F(x), \quad (5)$$

其中 $x = \xi(t)/\xi(t')$. 对 Ising 模型, 空间关联长度 $\xi(t) \sim t^{1/\nu}$. 当 $1 \ll t' \ll t$, 即 $x \gg 1$ 时, 标度函数 $F(x)$ 简化为一个简单的幂次关系 $F(x) \approx Bx^{-\lambda_c}$ ^[29], 即

$$A(t, t') \approx B(t')^{-2\beta/\nu} (t/t')^{-\lambda_c}. \quad (6)$$

对初始态为无序态的二维 XY 模型, 空间关联长度存在对数修正^[30], 其渐近行为 $\xi(t) \sim (t/\ln t)^{1/\nu}$. 这里的对数修正的物理根源在于, 当 $T \geq T_c$ 时体系存在自由涡旋态. 自由涡旋态是一种能量较低的似稳态. 当体系从高温初始态开始动力学演化时, 体系容易落入似稳态并被束缚住, 需要较长时间才能摆脱似稳态的束缚, 因而动力学演化较慢.

文献[25]讨论了低温情形($T = 0.1 - 0.7$)下自关联函数的标度行为的修正. 文献[25]假设从无序初态出发的自关联函数的标度行为

$$A(t, t') \approx (t - t')^{-\eta/\nu} [(t/\ln t)^{1/\nu} (t'/\ln t')^{1/\nu}]^{-k}. \quad (7)$$

我们将通过数值模拟指出, 这一假设在相变点附近不成立. 事实上, 即便当 $T = 0.7$ 时, 这一假设得到

的指数 $k = 1.05$, 与文献 [14] 得到的指数 $k = 2\lambda_c - 2\eta/z = 1.25$ 不符合. 根据文献 [14], 双时自关联函数的标度行为

$$A(t, t' = 0) \equiv A(t) \sim \{t[1 + c \ln(t)]\}^{-\lambda_c}, \quad (8)$$

由此可得, 当 $t' \ll t$ 时,

$$A(t, t') \sim \{t(1 + c \ln t)\} \{t'(1 + c \ln t')\}^{-\lambda_c}. \quad (9)$$

为方便计算, 将上式作形式变换

$$A(t, t') \sim \{t/t'\} \{1 + c' \ln(t/t')\}^{-\lambda_c}, \quad (10)$$

这里 $c' = c'(t')$ 是一个与 t' 有关的常数. 对比 Ising 模型的标度 (6) 式, 我们假设

$$A(t, t') \approx B \{t' [1 + c \ln(t')]\}^{-\eta/z} \times \{t/t'\} \{1 + c' \ln(t/t')\}^{-\lambda_c}. \quad (11)$$

XY 模型中的 η 对应于 Ising 模型中的 $2\beta/\nu$. 在相变点附近 (11) 式比 (7) 式合理, 因为可以得到正确的指数 λ_c . 并且将观察到不同等待时间 t' 下 $A(t, t')$ 数值结果的临界标度行为, 即 data collapse 现象.

在具体的数值计算中, 通过 (6) 和 (11) 式描述 Ising 模型和 XY 模型的 aging 现象, 通过在双对数坐标中的曲线拟合获得临界指数 λ_c 的值. 在实际计算中需要注意, 这里 t 是一个微观长而宏观短的时间, 并且 $t > t'$.

3. 模拟计算结果

我们模拟 $L \times L$ 的二维正方格点模型, 采用周期性边界条件, 在相变点 $K_c \approx 0.440$ (Ising) 和 $K_c \approx 0.89$ (XY) 处, 分别以 Heat-bath 和 Metropolis 算法构造蒙特卡罗迭代过程. 我们发现这两种算法得到的结果在统计误差范围内是一致的, 所以本文只给出 Heat-bath 算法的结果. 将系统的初始态取为无序态, 然后淬火到临界点. 选取系列 $t' = 0, 20, 40, 80, 160$ 和 320 作分析, 演化时间 t 最大达 25600 (Ising) 和 10240 (XY). 分别选取 20000 (Ising) 和 10000 (XY) 个不同的微观初始状态作统计平均. 我们分别计算了 $L = 32, 64, 128, 256$ 和 512 情况下的双时自关联函数随时间的演化, 以分析其受有限尺度效应的影响. 下面所给计算数据均为最大点阵上 $L = 512$ (Ising) 或 256 (XY) 获得的模拟结果.

首先计算当 $t' = 0$ 时的自关联函数 $A(t) = A(t, 0)$. 图 1 所示为 Ising 模型和 XY 模型在双对数坐标下 $A(t)$ 随 t 的演化曲线. Ising 模型取 $L = 256$

和 $L = 512$ 的曲线几乎重合, 表明我们的数据有限尺度效应非常小. 虚线为用幂次规律拟合的曲线, Ising 模型的 $A(t)$ 显示出很好的幂次衰减行为. 对 XY 模型的 $A(t)$, 按幂次规律拟合的虚线看起来大体上与模拟曲线的偏离不大, 似乎在 $t > 200$ 后与实线符合还相当好. 但实际上并不这么简单. 图中圆点表示用 (8) 式对数修正后的拟合数据, 由图可见, 对实验数据的拟合, 圆点比虚线更好. 关键在于, 是否引入对数修正得到的 λ_c 差别甚大. 用标准最小方差拟合法在双对数坐标下求曲线斜率 λ_c . 测量数据见表 1. 由第三和第四行数据可知, 按幂次拟合和用对数修正后的 λ_c 指数测量值相差近 20%. 因此, 必须引入对数修正. 表 1 最后一列的文献值与我们通过对数修正后的测量值符合, 说明我们的数据是可信的.

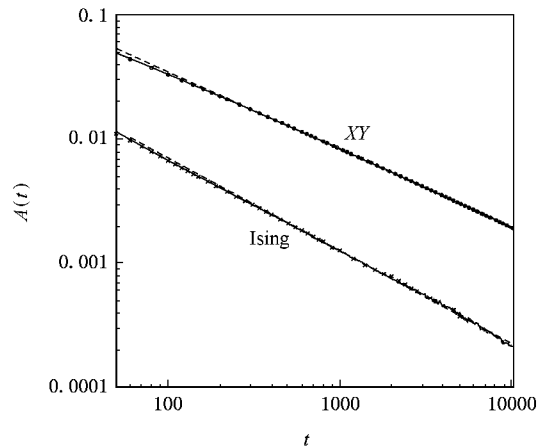


图 1 在相变温度, 以无序态为初态, 二维 XY 模型取 $L = 256$ (实线) 和 Ising 模型取 $L = 512$ (实线) 和 $L = 256$ (用 \times 表示) 时, 自关联函数 $A(t)$ 随 t 演化的曲线 (虚线表示按幂次拟合的曲线, 圆点表示用对数修正后的拟合数据)

表 1 在不同时间区间 $[t_1, 7000]$ (Ising 模型) 和 $[t_1, 10240]$ (XY 模型), 测量 $A(t)$ 的临界指数 λ_c .

t_1	50	100	200	400	800	文献值
Ising	0.735	0.735	0.736	0.739	0.742	$0.737(1)^{[12]}$
XY 幂次	0.627	0.629	0.631	0.634	0.637	
XY 对数修正	0.730	0.734	0.736	0.741	0.755	$0.738(4)^{[11]}$

其次, 我们计算 $A(t, t')$ 随时间比值 t/t' 的演化. 图 2 所示为 Ising 模型的演化曲线. 采用整体标度拟合法, 将实验数据 $A(t, t')$ 乘以最佳标度因子 $(t')^{2\beta/\nu} (2\beta/\nu \approx 0.115^{[29]})$, 重新标度后以不同的符号画在图中上部, 可见数据很好地重叠在一起, 具有

data collapse 临界标度行为,可以用一条主曲线描述.这一结果表明标度律(6)成立,这就是 aging 现象.实验测得数据以及相关文献数据见表 2,指数 λ_c 在 0.736 附近,最大涨落仅为 0.5%,与文献 [29] 所给 0.73 的值相差约 1%.(文献 [29] 是在 $L = 300$ 的情况下进行 0.73 的估计值是在 t/t' 较大时给出的,但文献中并未指出具体是多大,且没有给出各个 t' 所对应的值,因此我们的数据更精确而可信.)

表 2 取不同 t' 测量 $A(t, t')$ 的临界指数 λ_c (最后一列数据取自文献 [29])

t'	20	40	80	160	320	文献值
Ising	0.737	0.733	0.740	0.738	0.732	0.73
XY 幂次	0.615	0.609	0.602	0.594	0.583	
按 (7) 式修正	0.713	0.705	0.695	0.683	0.669	
按 (11) 式修正	0.746	0.748	0.751	0.754	0.750	

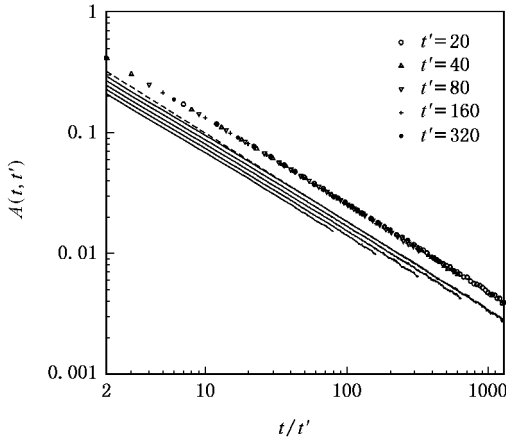


图 2 二维 Ising 模型取 $L = 512$ 时,双时自关联函数 $A(t, t')$ 随 t/t' 的演化曲线.从上到下 t' 分别为 20, 40, 80, 160 和 320.虚线表示用幂指数关系拟合 $t' = 20$ 时的曲线.实验数据乘以最佳标度因子 $(t')^{2/\nu z}$,重新标度后以不同符号(如图示)画在图中上部

对 XY 模型,首先按 (7) 式作数据分析.与文献 [25] 中图 5 类似,作出在双对数坐标下 $A(t, t')$ 随 $(t \ln t')/(t' \ln t)$ 的演化曲线,如图 3.发现按 (7) 式拟合的数据与理论不符合,图 3(a) 中表现为虚线与实线有偏离,更重要的是各 t' 对应的指数相差较大(见表 2 第四行),指数在 0.693 附近波动,最大涨落为 3.5%.图 3(b) 为实验数据乘以标度因子 $(t - t')^{\eta/z}$,重新标度后的情况.当 $T = 0.89$ 时, $\eta \approx 0.234$ [14], 则 $\eta/z \approx 0.234/2 = 0.117$.图形和测量数据均表明,不同 t' 对应的 $A(t, t')$ 实验数据无法重叠在函数形式 (7) 上,不支持标度行为.因此,在相变点附近,低温下猜测的标度形式 (7) 不成立,这是由于自由涡旋的效应.

然后,我们按本文假设的 (11) 式作数据分析.图

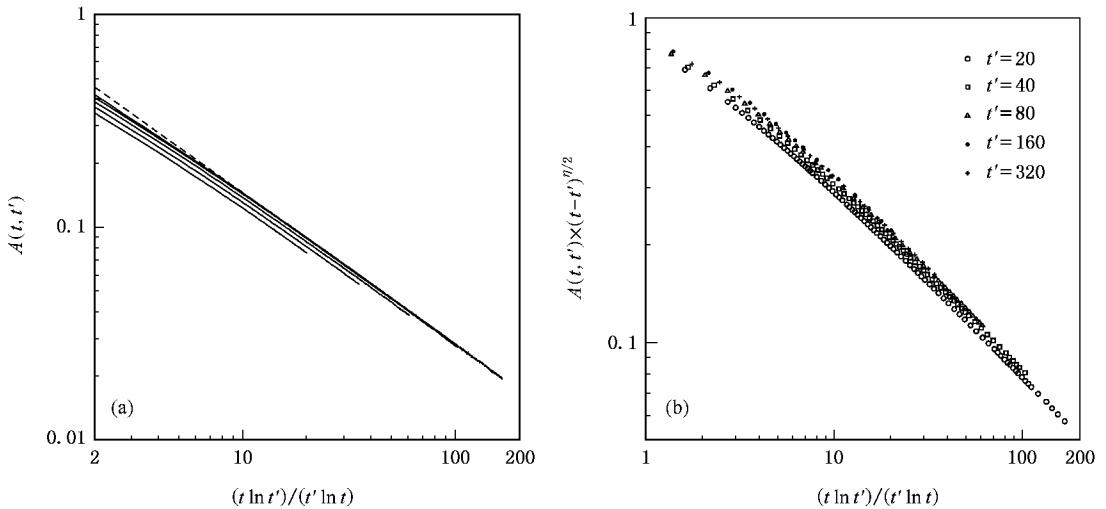


图 3 (a) 二维 XY 模型在 $T = 0.89$ 和 $L = 256$ 情形下,从无序初态淬火到相变点的自关联函数 $A(t, t')$ 随 $(t \ln t')/(t' \ln t)$ 演化的曲线.实线从上到下对应 t' 分别为 20, 40, 80, 160 和 320,虚线为拟合线.(b) 将图 (a) 数据乘以最佳标度因子 $(t - t')^{\eta/z}$,重新标度后数据重叠的情况

(a) 显示 $A(t, t')$ 随时间比值 t/t' 的演化.实线是实验数据曲线,虚线是用幂次规律拟合 $t' = 20$ 时的曲

线,圆点表示用对数修正后的拟合数据.与图 1 类似,圆点拟合比虚线符合得更好,说明这种修正是必

要的. 采用整体标度拟合法, 根据(11)式, 将实验数据乘以最佳标度因子 $\{t' [1 + c \ln(t')]\}^{d/z}$, 重新标度后以不同符号画在图 4(b) 中, 观察到数据被很好地重叠在一起 (data collapse), 其中常数 c 由(10)式拟合时得到. 另一方面, 不同 t' 对应的指数 λ_c 相同.

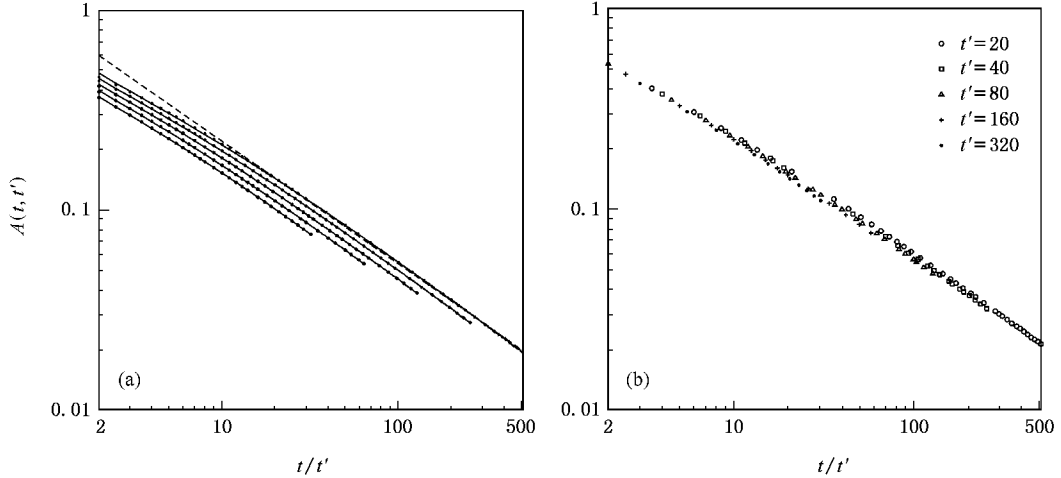


图 4 (a) 二维 XY 模型在 $T=0.89$ 和 $L=256$ 情形下, 从无序初态淬灭到相变点的自关联函数 $A(t, t')$ 随 t/t' 演化的曲线, 从上到下 t' 分别为 20, 40, 80, 160 和 320. (b) 将图(a) 数据乘以最佳标度因子 $\{t' [1 + c \ln(t')]\}^{d/z}$, 重新标度后数据重叠的情况, 可见存在明显的标度行为

为什么(7)式在低温下可以成立呢? 我们认为来源于 $\eta = \eta(T)$ 值随温度的降低而减小, 如 $\eta(T=0.89) \approx 0.234^{[14]}$, $\eta(T=0.3) \approx 0.06^{[25]}$. 在低温下, 由于 $\eta(T)$ 很小 (按平均场理论 $\eta=0$) (7) 和 (11) 式中整体标度因子 $(t-t')^{d/z}$ 与 $\{t' [1 + c \ln(t')]\}^{d/z}$ 的差异已难以区分. 我们的数据非常清晰地表明, 对初始态为无序态的二维 XY 系统, 至少在相变点附近, 标度行为应按(11)式进行对数修正.

4. 结 论

本文以二维 Ising 和 XY 模型为例研究了自旋系统的 aging 现象. 发现当 $1 \ll t' \ll t$ 时, 非平衡状态下的二维自旋系统的双时自关联函数 $A(t, t')$ 与空间关联长度的比值 $\xi(t)/\xi(t')$ 相关, 在相变点附近满

实验测得数据及相关文献对比数据见表 2. 临界指数 λ_c 在 0.750 左右, 最大涨落仅为 0.5%. 这些结果均表明我们预测的标度规律(11)成立, 即在经典二维 XY 模型相变点附近存在 aging 现象, 但必须引入对数修正.

足标度行为(6)和(11)式, 系统处于 aging 过程.

对于 XY 模型, 我们的数据分析显示 (7) 式在相变点附近不成立, 应采用(11)式进行修正. 数据明显表明, 用幂次行为拟合和用对数修正拟合所得临界指数值相差甚远, 对数修正强烈而不能忽略, 它来源于自由涡旋的效应. 这种修正不仅在 $t'=0$ 的情况下成立^[14], 并且在 aging 区域也正确.

一般地, 临界指数 $\lambda_c = d/z - \theta^{[14]}$, θ 为从磁化 m_0 很小的无序初态开始演化的磁化反常增长指数: $M(t) \sim m_0 t^\theta$. 文献 [13] 和 [14] 分别报道 Ising 和 XY 模型的 $\theta = 0.19$ (1) 和 0.249(2). 由我们测量的指数 $\lambda_c = d/z - \theta = 0.73$ (4) 和 0.75(4) 分别算出 $z = 2.15$ (5) 和 2.00(2). 这与文献 [13] 报道的 Ising 模型的 $z = 2.155$ (3) 非常接近. 对 XY 模型, 我们的数据比以往文献的数据更接近理论值 $z = 2$.

[1] Bray A J 1994 *Adv. Phys.* **43** 357

[2] Cugliandolo L F 2003 in *Slow Relaxation and Non Equilibrium Dynamics in Condensed Matter*, Les Houches Session 77, July 2002, edited by J.-L. Barrat, J. Dalibard, J. Kurchan, and M. V. Feigel'man (Berlin: Springer)

[3] Janssen H K, Schaub B, Schmittmann B 1989 *Z. Phys.* **B 73** 539

[4] Li Z B, Schülke L, Zheng B 1995 *Phys. Rev. Lett.* **74** 3396

[5] Zheng B 1996 *Phys. Rev. Lett.* **77** 679

[6] Wang L, Gu D W, Ying H P, Ji D R 2000 *Acta Phys. Sin.* **49** 344 [王磊, 顾德伟, 应和平, 季达人 2000 物理学报 **49** 344]

[7] Yin J Q, Zheng B, Trimper S 2004 *Phys. Rev. E* **70** 056134

[8] Yin J Q, Zheng B, Trimper S 2005 *Phys. Rev. E* **72** 036122

- [9] Shao Y Z , Zhong W R , Lu H Q , Lei S F 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 2057 [邵元智、钟伟荣、卢华权、雷石付 2006 物理学报 **55** 2057]
- [10] Yin J Q , Zheng B , Prudnikov V V , Trimper S 2006 *Eur. Phys. J. B* **49** 195
- [11] Hohenberg P G , Halperin B I 1977 *Rev. Mod. Phys.* **49** 435
- [12] Zheng B 1998 *Int. J. Mod. Phys. B* **12** 1419
- [13] Zheng B 2004 *Computer Simulation Studies in Condensed-Matter Physics XVII* edited by D.P. Landau ,(Berlin : Springer)
- [14] Zheng B , Ren F , Ren H 2003 *Phys. Rev. E* **68** 46120
- [15] Godrèche C , Luck J M 2002 *J. Phys. :Condens. Matter* **14** 1589
- [16] Crisanti A , Ritort F 2003 *J. Phys. A* **36** R181
- [17] Montanari A 2003 *Phys. Rev. B* **68** 224429
- [18] Henkel M , Pleimling M 2003 *Phys. Rev. E* **68** R65101
- [19] Henkel M , Paessens M , Pleimling M 2004 *Phys. Rev. E* **69** 56109
- [20] Picone A , Henkel M 2004 *Nucl. Phys. B* **688** 217
- [21] Mazenko G F 2004 *Phys. Rev. E* **69** 16114
- [22] Pleimling M , Gambassi A 2005 *Phys. Rev. B* **71** 180401
- [23] Schehr G , Paul R 2005 *Phys. Rev. E* **72** 16105
- [24] Abriet S , Karevski D 2004 *Eur. Phys. J. B* **41** 79
- [25] Abriet S , Karevski D 2004 *Eur. Phys. J. B* **37** 47
- [26] Zheng B , Schulz M , Trimper S 1999 *Phys. Rev. E* **59** R1351
- [27] Tomita Y , Okabe Y 2002 *Phys. Rev. B* **65** 184405
- [28] Hohenberg D C , Halperin B J 1977 *Rev. Mod. Phys.* **49** 435
- [29] Godrèche C , Luck J M 2000 *J. Phys. A* **33** 9141
- [30] Bray A J , Briant A J , Jervis D K 2000 *Phys. Rev. Lett.* **84** 1503

A numerical study on the aging of two-dimensional spin systems^{*}

Lei Xiao-Wei^{1,2†} Zheng Bo²⁾ Ying He-Ping²⁾

¹ *Department of Physics and Information Engineering ,Chongqing University of Arts and Sciences , Chongqing 402160 , China)*

² *Zhejiang University , Zhejiang Institute of Modern Physics , Hangzhou 310027 , China)*

(Received 5 January 2006 ; revised manuscript received 31 August 2006)

Abstract

With a large-scale Monte Carlo simulation , the aging of the two-dimensional dynamic Ising and XY models is numerically studied. Starting from a disordered state , the systems are quenched to critical temperature T_c and then evolve according to dynamics of model A. By calculating the autocorrelation function $A(t, t')$ we observe the aging phenomenon for both spin systems. Then , relatively accurate values of the dynamic critical exponent λ_c and z are estimated. Especially , we confirm that for the two-dimensional XY model , there is a strong logarithmic correction to scaling in the dynamic relaxation starting from a completely disordered.

Keywords : Monte Carlo simulation , phase transition and critical behavior , aging phenomena

PACC : 7540M , 7540G , 7540D

^{*} Project supported by the National Science Found for Distinguished Young Scholars of China. (Grant No. 10325520) and the Foundation for Research Program of Science and Technology from the Education Commission of Chongqing Province , China (Grant No. KJ061208).

[†] Corresponding author. E-mail : leixiaowei@cqwu.net , zheng@zimp.zju.edu.cn