

椭球与圆球混合胶体体系的玻璃化转变

孙艳丽 王华光 张泽新

Glass transition in binary mixture of colloidal ellipsoids and spheres

Sun Yan-Li Wang Hua-Guang Zhang Ze-Xin

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 67, 106401 (2018) DOI: 10.7498/aps.67.20180264

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.67.20180264>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2018/V67/I10>

---

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

玻璃形成体系中的 $\beta$ 弛豫

$\beta$ -relaxation in glass forming systems

物理学报.2017, 66(17): 176407 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.176407>

Inherited structure of amorphous matter

物理学报.2017, 66(17): 176405 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.176405>

金属玻璃液体中的强脆转变现象

Fragile-to-strong transition in metallic glass-forming liquids

物理学报.2017, 66(17): 176403 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.176403>

金属玻璃的键态特征与塑性起源

Bonding nature and the origin of ductility of metallic glasses

物理学报.2017, 66(17): 176402 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.176402>

非晶物质中的临界现象

Critical phenomena in amorphous materials

物理学报.2017, 66(17): 176401 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.176401>

# 椭球与圆球混合胶体体系的玻璃化转变\*

孙艳丽 王华光 张泽新†

(苏州大学, 软凝聚态物理及交叉研究中心, 苏州 215006)

(2018年2月2日收到; 2018年3月16日收到修改稿)

以椭球与圆球混合的胶体体系为研究对象, 通过增加体系的面积分数, 从实验上研究了混合体系发生玻璃化转变过程中结构和动力学行为的演变规律. 在结构方面, 通过计算和分析径向分布函数、泰森多边形以及取向序参量, 发现椭球可以有效地抑制圆球结晶, 整个体系在结构上始终保持无序. 在动力学方面, 通过计算体系的均方位移和自散射函数, 发现随着面积分数的增加, 体系的动力学明显变慢, 弛豫时间在接近模耦合理论预测的玻璃化转变点快速增大并发散. 通过考察快速粒子参与的协同重排行为, 发现协同重排区域形状、大小和位置都与椭球的存在密切相关.

**关键词:** 胶体玻璃, 结构, 动力学, 模耦合理论

**PACS:** 64.70.P-, 64.70.kj, 64.70.pv

**DOI:** 10.7498/aps.67.20180264

## 1 引言

玻璃是自然界和生产生活中一种常见的物质形态<sup>[1]</sup>, 在食品<sup>[2]</sup>、医学<sup>[3]</sup>和材料等<sup>[4]</sup>领域应用广泛. 虽然玻璃材料已经使用了数千年, 但是人们对于液态如何转化成玻璃态的物理机理尚未很好地理解. 半个世纪以来, 各国科学家提出了很多关于玻璃化转变的理论模型<sup>[5]</sup>, 其中比较重要的有自由体积模型<sup>[6]</sup>、Adam-Gibbs 热力学理论<sup>[7]</sup>以及模耦合理论(model coupling theory, MCT)<sup>[8-10]</sup>, 但是, 这些理论也只能解释转变过程中的部分实验现象, 玻璃化转变的物理机理一直是世界性的科学难题之一.

相较于大量的理论研究, 玻璃化转变的实验研究发展相对缓慢, 而且传统的实验研究都是采用各向同性的球形粒子作为模型来研究玻璃<sup>[8,11-14]</sup>. 众所周知, 真实的原子和分子体系通常为各向异性的非球形粒子, 因此, 设计各向异性粒子作为模型体系是近年来玻璃化转变的研究热点<sup>[10,15-21]</sup>, 其中最简单的各向异性粒子模型就是椭球胶体体系.

例如, Han等<sup>[22]</sup>通过实验研究发现, 在二维(2D)的椭球胶体悬浮液中, 可以观测到平动玻璃和转动玻璃两步的玻璃化转变. Latz等<sup>[23]</sup>通过计算机模拟研究发现, 在椭球组成的三维(3D)体系中, 当长径比大于2.5时, 可以形成一种取向的玻璃. 此外, 最近的研究表明, 各向异性的椭球粒子的确可以引发新的动力学现象, 这为玻璃化转变过程中研究平动和转动的相互关系提供了一个新的思路<sup>[24,25]</sup>.

研究玻璃化转变的传统体系都是由各向同性粒子或者各向异性粒子组成的单一体系. 最近, 各向同性和各向异性粒子混合体系下的玻璃态行为受到了计算机模拟研究者的关注<sup>[26]</sup>. 计算机模拟的研究结果表明, 随着面积分数 $\phi$ 的增加, 这种各向同性和各向异性粒子混合体系也会形成玻璃, 体系的动力学和结构行为与两种类型粒子的组分以及体系的 $\phi$ 密切相关<sup>[27]</sup>. 然而, 在实验上研究这种混合体系的玻璃化转变的工作还鲜有报道. 本文通过设计物理实验, 考察了胶体椭球与圆球混合体系随着 $\phi$ 增加时发生玻璃化转变过程中的结构和动力学的演变规律, 发现随着 $\phi$ 的增加, 体系结构上仍然保持着无序的状态, 椭球可以有效地抑制

\* 国家自然科学基金(批准号: 11574222, 21522404)和江苏省高等学校自然科学研究项目(批准号: 17KJB140020)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: zhangzx@suda.edu.cn

圆球结晶; 同时, 体系的动力学明显减缓, 弛豫时间在接近 MCT 预测的玻璃化转变点迅速增大并分散. 通过对体系内的快速粒子参与的协同重排区域 (cooperative rearrangements regions, CRRs) 进行分析, 发现 CRRs 形状、大小和位置与椭球密切相关.

## 2 实验过程与方法

研究玻璃化转变的经典体系是 Kob-Anderson 模型, 该模型由数量比例为 4 : 1 的大小圆球组成, 这样的体系可以有效抑制结晶而形成玻璃 [28]. 因此, 本文的实验中, 也采用圆球和椭球比例为 4 : 1 的混合体系来研究玻璃化转变, 其中圆球是尺寸为 1.6  $\mu\text{m}$  的聚苯乙烯微球, 购买自 Thermo Scientific 公司; 椭球是 2.5  $\mu\text{m}$  的聚苯乙烯微球 (购买自 Thermo Scientific 公司), 通过物理拉伸方法制备得到 [29], 制备所得的椭球长轴约为 2.0  $\mu\text{m}$ , 短轴约为 1.2  $\mu\text{m}$ . 实验时, 首先使用移液枪吸取适量混合液置于两盖玻片之间使其形成单层样品, 利用紫外光胶对其密封. 密封后的样品经过 10 h 静置, 然后在显微镜载物台上静置平衡 1 h 后进行观察和数据采集 (图 1). 为了减小可能的样品槽的边界效应, 我们选择了远离边界的区域进行数据采集. 视野中体系面积分数  $\phi$  的计算公式为

$$\phi = \left[ n_S \pi \left( \frac{\sigma_S}{2} \right)^2 + n_E \pi \left( \frac{ab}{4} \right) \right] / A_T,$$

其中  $n_S$  ( $n_E$ ) 是圆球 (椭球) 的数目,  $\sigma_S$  是圆球粒子的直径,  $a$  是椭球的长轴,  $b$  是椭球的短轴,  $A_T$  表示观察的整个视野的面积. 本文采用 10 组不同  $\phi$  的体系来进行实验研究, 分别为  $\phi = 0.38, 0.50, 0.53, 0.61, 0.63, 0.65, 0.67, 0.72, 0.75, 0.77$ .

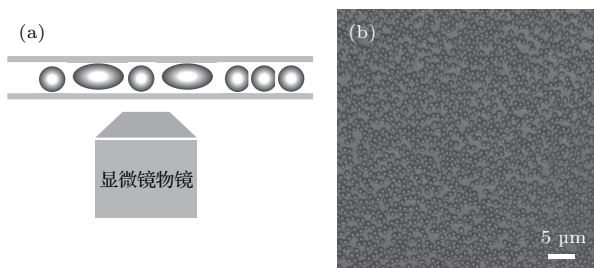


图 1 (a) 样品在物镜上的示意图; (b)  $\phi = 0.38$  的样品显微镜照片

Fig. 1. (a) Schematic of experimental setup: a monolayer of colloidal suspension (spheres and ellipsoids mixture) confined between two coverslips, making a quasi-2D sample; (b) bright-field microscope image of the colloidal suspension for  $\phi = 0.38$ .

0.50, 0.53, 0.61, 0.63, 0.65, 0.67, 0.72, 0.75, 0.77. 数据采集时先进行快拍, 其速度为 100 帧/s, 连续拍摄 10 s, 然后慢拍, 速度为 3 帧/s, 连续拍摄 1000 s. 最后以通用的粒子追踪程序来确定每个粒子在不同时刻的位置信息 [30], 从而对体系的结构和动力学行为进行定量的分析.

## 3 结果与讨论

### 3.1 体系的结构特征

玻璃化转变过程中的一个显著特征是静态结构上保持无序的状态. 为了研究椭球与圆球混合体系随  $\phi$  增加过程中的结构性质, 我们首先分析了体系的径向分布函数:

$$g(r) = (1/n^2) \langle \rho(r + \Delta r) \rangle \langle \rho(r) \rangle,$$

其中  $n$  表示粒子数密度,  $\rho = \sum_{i=1}^{N(t)} \delta(r - r_i(t))$  表示区域内的粒子分布,  $\langle \rangle$  表示对时间和空间上的平均. 径向分布函数表征了体系内距离单个粒子的一个给定距离  $r$  处找到其他粒子的概率 [13,31]. 图 2 给出了体系在不同  $\phi$  下径向分布函数的变化规律. 可以看出, 随着探测距离  $r$  的增大,  $g(r)$  的峰很快消失, 说明体系处于一个非长程有序的状态. 此外, 随着体系浓度的增加,  $g(r)$  在短程距离关联性会增强,

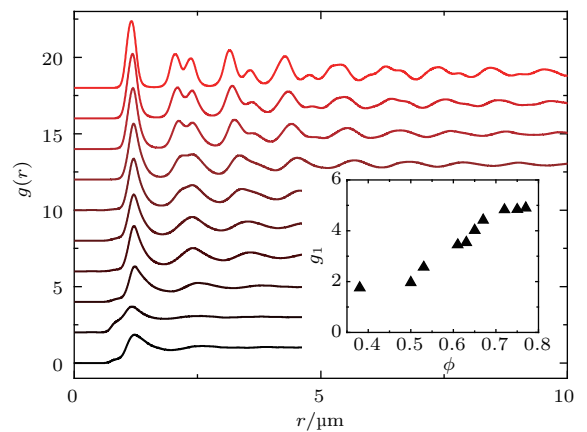


图 2 径向分布函数  $g(r)$ , 从下到上体系面积分数  $\phi$  依次为 0.38, 0.50, 0.53, 0.61, 0.63, 0.65, 0.67, 0.72, 0.75, 0.77; 插图 of 各面积分数  $\phi$  下对应的径向分布函数的第一峰峰高  $g_1$

Fig. 2. Pair-correlation function  $g(r)$  for spheres at different area fraction  $\phi$  (from bottom to top: 0.38, 0.50, 0.53, 0.61, 0.63, 0.65, 0.67, 0.72, 0.75, 0.77). The inset shows  $g_1$ , the height of the first peak of  $g(r)$ , as a function of area fraction  $\phi$ .

峰值变高,插图所示的体系在不同 $\phi$ 下 $g(r)$ 第一峰峰高 $g_1$ 很好地说明了这一点.

为了直观地表示体系的有序/无序的结构,计算了体系的泰森多边形分布图<sup>[32]</sup>.由图3可以直观地识别出每个粒子周围的近邻粒子数,不同颜色的多边形代表粒子周围的近邻粒子数不同.对于完美的2D晶体体系,每个粒子周围有6个近邻粒子,对应的是六边形,表明体系结构有序;而如果粒子周围不是6个近邻粒子,对应的是非六边形的多边形,表明体系结构无序.因此,泰森多边形可以方便地分析体系内缺陷产生、聚集和变化等情况.对于单分散的圆球体系,随着 $\phi$ 增加,体系中近邻粒子数为6的粒子会不断增加,最后形成2D晶体.对于圆球和椭球混合体系,发现当 $\phi$ 较低时,近邻粒子数随机分布,呈现无序状态(图3(a));当 $\phi$ 较大时,粒子的近邻粒子数并没有发生本质的变化

(图3(b)),这说明体系依然保持无序的结构.这主要是由于体系中椭球粒子的存在导致了缺陷的产生,从而有效地抑制了圆球粒子的结晶,使得体系在高浓度时仍然保持着无序的结构,有利于形成玻璃态.

为了研究椭球对体系结构的影响,我们计算了粒子的局部取向序参量:

$$\psi_{6i} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} e^{i\theta_{ij}},$$

其中 $n_i$ 是粒子 $i$ 的最近邻粒子数, $\theta_{ij}$ 是粒子 $i$ 与其最相连的第 $j$ 个粒子的连线与 $X$ 轴的夹角.当 $\psi_{6i} = 1$ 时,表示粒子呈现完美的六角形排列;当 $\psi_{6i} = 0$ 时,表示粒子呈现随机排列的无序结构<sup>[33]</sup>.图4给出了 $\phi = 0.38$ (图4(a))和 $\phi = 0.63$ (图4(b))时,粒子的取向序参量分布图.由图4(a)可以看出,当体系 $\phi$ 比较低时,粒子的取向序参量值

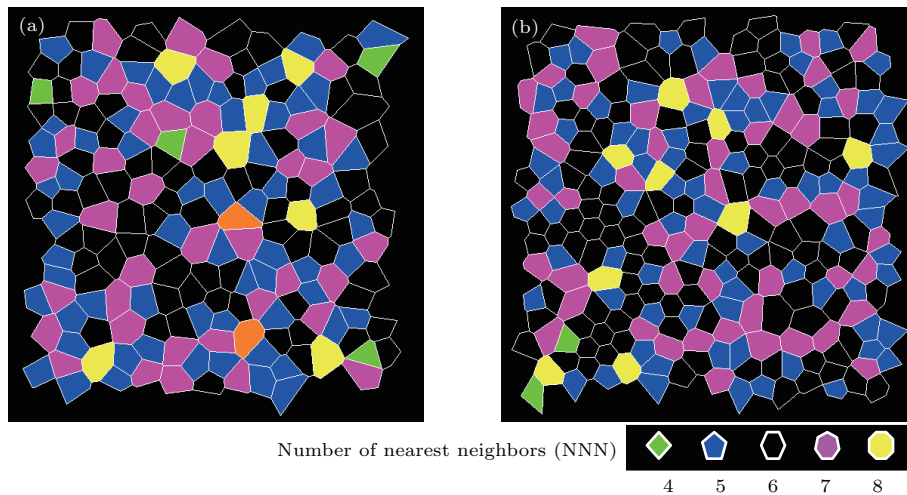


图3 泰森多边形分布图 (a)  $\phi = 0.38$ ; (b)  $\phi = 0.63$ ; 图中的色标表示粒子的最近邻粒子的个数(参见图标)  
Fig. 3. Snapshots of voronoi diagram corresponding to the systems of  $\phi = 0.38$  (a) and  $\phi = 0.63$  (b) respectively. The color code indicates the number of nearest neighbors for particles (see the legend).

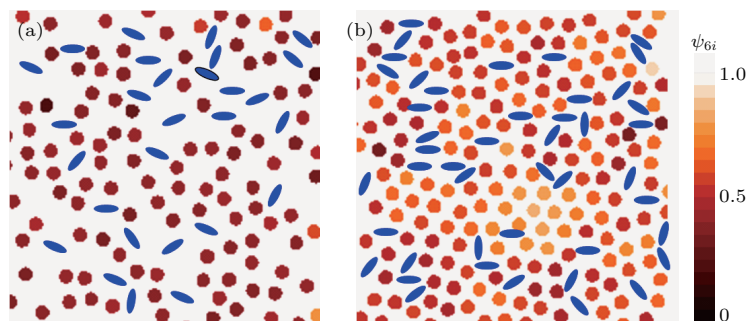


图4 体系取向序参量分布图 (a)  $\phi = 0.38$ ; (b)  $\phi = 0.63$ ; 颜色代表粒子局部取向序参量 $\psi_{6i}$ 值(参见色带图)  
Fig. 4. Snapshot of local order parameter,  $\psi_{6i}$ , for  $\phi = 0.38$  (a), and  $\phi = 0.63$  (b). The color of particles represents the value of  $\psi_{6i}$  (see the color bar).

总体比较低, 说明体系为无序状态. 当  $\phi$  增大, 发现椭球周围的圆球粒子的取向序参量值比其他区域低, 这表明椭球粒子的存在抑制了周围粒子的结晶, 引起体系的缺陷, 使得体系保持无序结构 (图 4 (b)).

### 3.2 体系的动力学特征

在胶体体系中, 体系的动力学强烈地依赖于粒子的浓度. 为了量化椭球与圆球混合体系在不同  $\phi$  的动力学特征, 我们计算了体系的均方位移 (mean square displacement, MSD):

$$\langle \Delta r_i^2(t) \rangle = \langle [\mathbf{r}_i(t) - \mathbf{r}_i(0)]^2 \rangle,$$

其中  $\mathbf{r}_i(t)$  是粒子  $i$  在时刻  $t$  的位置,  $\mathbf{r}_i(0)$  是该粒子最初的位置 [11]. 图 5 给出了随着  $\phi$  的增加, 体系 MSD 的变化规律. 发现当  $\phi$  较低时, 体系中粒子的动力学较快, 随时间增加, MSD 呈现类似自由扩散的线性增长; 当  $\phi$  增加时, MSD 增长趋势逐渐变缓. 当  $\phi$  达到 0.75 或者更高时, 发现 MSD 出现了平台期, 并且  $\phi$  越高, 平台期对应的时间越长. 这种行为是因为在高浓度体系下, 粒子的运动受到周围近邻粒子的限制. 普遍认为的物理图景是: 粒子被束缚在近邻粒子所构成的“笼子”(cage) 里, 导致 MSD 出现平台期; 随着时间的增加, 有些粒子会逃出“笼子”, 从而在长时间尺度上 MSD 曲线又会上升; 而当  $\phi$  非常高时, 粒子很难从“笼子”中逃离, MSD 的平台期延长, 这种 MSD 随  $\phi$  的变化行为是玻璃化转变中最显著的动力学特征 [11].

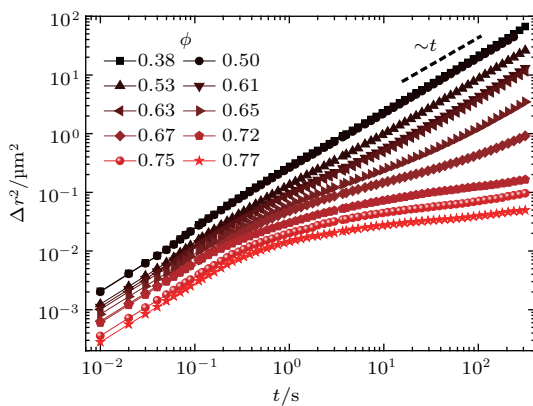


图 5 不同面积分数下粒子均方位移的变化  
Fig. 5. Mean squared displacement of particles for different area fractions.

在玻璃动力学研究中, 另一个经典的物理学参量就是自散射函数 (self-intermediate scattering

function),

$$F_S(\mathbf{q}, t) = \frac{1}{N} \left\langle \sum_{i=1}^N e^{-i\mathbf{q}[\mathbf{r}_i(t) - \mathbf{r}_i(0)]} \right\rangle,$$

其中  $N$  为粒子总数,  $\mathbf{q}$  为自散射矢量, 它的大小由体系静态结构因子决定 [22]. 根据体系的 MSD 平台期的动力学行为, 我们选定的自散射矢量  $q = 4.0$ . 图 6 给出了不同  $\phi$  下自散射函数的变化趋势, 可以看出, 当体系浓度较低时, 该函数在所研究的时间尺度上衰减得十分迅速, 表明较快的动力学弛豫. 随着体系  $\phi$  的增加, 衰减过程逐渐减缓, 这说明粒子运动弛豫趋缓. 当体系浓度达到 0.75 及以上时, 自散射函数出现了类似 MSD 的平台期. 这同样表明, 体系浓度增加后, 出现的“笼子”效应抑制了体系的运动弛豫, 这是玻璃化转变中最典型的动力学行为.

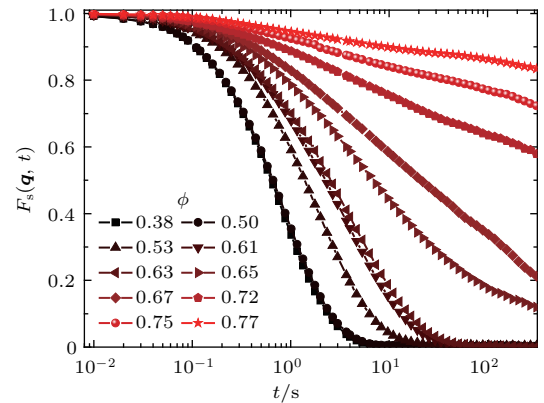


图 6 不同面积分数下自散射函数  $F_S(\mathbf{q}, t)$  的衰减变化  
Fig. 6. Self-intermediate scattering function,  $F_S(\mathbf{q}, t)$  for different area fractions.

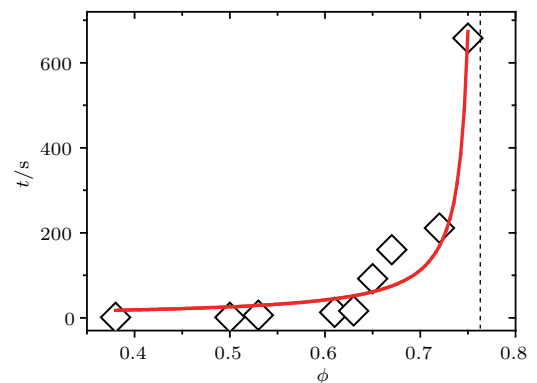


图 7 不同面积分数对应的弛豫时间, 实线表示 MCT 进行的参数拟合, 虚线表示拟合得到的玻璃化转变点  
Fig. 7. The relaxation time corresponding to different area fractions. The solid line indicates the fitting curve according to the MCT, and the position of the dotted line represents the fitted glass transition point.

根据MCT, 自散射函数  $F_S(\mathbf{q}, t)$  长时间的弛豫过程满足  $e^{-(t/\tau)^\beta}$ , 体系的弛豫时间可以通过拟合  $F_S(\mathbf{q}, t)$  的长时间弛豫过程得到<sup>[10]</sup>. 为了研究和预测体系的玻璃化转变点, 我们对体系的弛豫时间和  $\phi$  的关系进行拟合<sup>[8]</sup>:  $\tau \sim (\phi_c - \phi)^{-\gamma}$ , 其中  $\phi_c$  是MCT预测的玻璃化转变点;  $\gamma$  为体系拟合得到的参数,  $\gamma = 1$ . 拟合结果如图7所示, 实线表示拟合曲线, 虚线是拟合得到的玻璃化转变点,  $\phi_c \approx 0.76$ . 我们发现, 随着  $\phi$  的增加, 尤其在接近玻璃化转变点时, 体系的弛豫时间迅速增大并发散, 符合MCT.

### 3.3 协同重排

协同重排是玻璃体系的特征物理现象. 为了研究椭球与圆球混合体系中玻璃化转变过程中的协同重排行为, 我们分析了快速粒子参与协同重排的空间分布<sup>[34]</sup>. 根据前人研究的方法, 将一个弛豫时间内运动距离为前10%的圆球粒子定义为快速粒子. 图8(a)和图8(b)展示了玻璃体系  $\phi = 0.77$  中CRRs的典型图片. 其中快速粒子用红色圆点表示, 其余圆球粒子显示为黑色圆点, 椭球粒子显示为蓝色椭圆, 箭头指示粒子运动方向. 可以看出, 快速粒子呈现出团簇状和链状结构, 并且集中出现在椭球粒子的周围. 这表明体系的CRRs与椭球的位置有很大的关联性, 椭球的存在改变了圆球粒子局部的动力学行为.

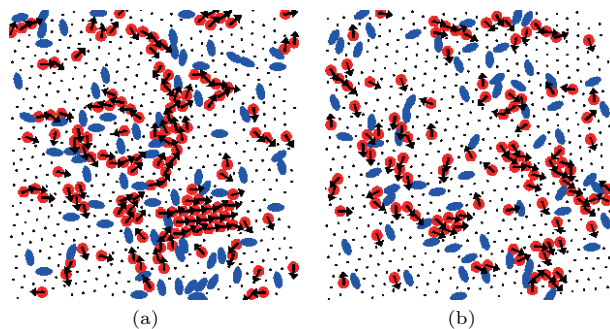


图8 快速粒子参与协同重排的分布图 ( $\phi = 0.77$ )

Fig. 8. Snapshots of the particles that take part in cooperatively rearrangement for  $\phi = 0.77$ .

## 4 总结

研究了椭球与圆球混合体系随着  $\phi$  增加时发生玻璃化转变的行为. 通过结构参量径向分布函数、取向序参量以及泰森多边形的分析, 发现随着  $\phi$

的增加, 体系结构上仍然保持为无序的状态, 表明体系进入玻璃态. 在动力学方面, 随着体系浓度的增加, 均方位移和自散射函数均出现了平台期, 体系的动力学明显减缓, 粒子的运动受到了周围粒子的“笼子”效应限制, 呈现典型的玻璃化转变的动力学演化行为. 体系弛豫时间随着  $\phi$  的变化符合模耦合理论, 随  $\phi$  的增加而增长, 并在玻璃化转变点发散. 体系中粒子的协同重排区域出现了团簇和和链状结构, 这些重排区域与椭球的存在密切相关.

此外, 本文通过改变椭球与圆球混合体系中面积分数  $\phi$ , 研究了体系玻璃化转变过程的结构和动力学. 对于两种类型粒子的混合比例, 按照经典的圆球混合体系Kob-Anderson模型来确定. 未来的研究工作可以系统地改变混合比例, 考察混合比对体系的结构和动力学产生的影响.

## 参考文献

- [1] Angell C A 1995 *Science* **267** 1924
- [2] Slade L, Levine H, Ievolella J, Wang M 1993 *J. Sci. Food Agric.* **63** 133
- [3] Zahn K, Lenke R, Maret G 1999 *Phys. Rev. Lett.* **82** 2721
- [4] Debenedetti P G, Truskett T M, Lewis C P, Stillinger F H 2001 *Adv. Chem. Eng.* **28** 21
- [5] Wen P 2017 *Acta Phys. Sin.* **66** 176407 (in Chinese) [闻平 2017 物理学报 **66** 176407]
- [6] Fox T G, Flory P J 1950 *J. Appl. Phys.* **21** 581
- [7] Adam G, Gibbs J H 1965 *J. Chem. Phys.* **43** 139
- [8] van Meegen W, Underwood S M 1993 *Phys. Rev. Lett.* **70** 2766
- [9] Debenedetti P G, Stillinger F H 2001 *Nature* **410** 259
- [10] Gotze W, Sjogren L 1992 *Rep. Prog. Phys.* **55** 241
- [11] Weeks E R, Crocker J C, Levitt A C, Schofield A, Weitz D A 2000 *Science* **287** 627
- [12] Kegel W K, Van B A 2000 *Science* **287** 290
- [13] Zhang Z, Xu N, Chen D T N, Yunker P, Alsayed A M, Aptowicz K B, Habdas P, Liu A J, Nagel S R, Yodh A G 2009 *Nature* **459** 230
- [14] Yunker P, Zhang Z, Yodh A G 2010 *Phys. Rev. Lett.* **104** 015701
- [15] Chong S H, Moreno A J, Sciortino F, Kob W 2005 *Phys. Rev. Lett.* **94** 215701
- [16] Yatsenko G, Schweizer K S 2007 *J. Chem. Phys.* **126** 014505
- [17] Tripathy M, Schweizer K S 2009 *J. Chem. Phys.* **130** 244906
- [18] Jadrlich R, Schweizer K S 2012 *Phys. Rev. E* **86** 061503
- [19] Kramb R C, Zhang R, Schweizer K S, Zukoski C F 2010 *Phys. Rev. Lett.* **105** 055702
- [20] Kramb R C, Zhang R, Schweizer K S, Zukoski C F 2011 *J. Chem. Phys.* **134** 014503
- [21] Kang K, Dhont J K G 2013 *Phys. Rev. Lett.* **110** 015901

- [22] Zheng Z, Wang F, Han Y 2011 *Phys. Rev. Lett.* **107** 065702
- [23] Letz M, Schilling R, Latz A 2000 *Phys. Rev. E* **62** 5173
- [24] Jadrich R, Schweizer K S 2012 *Phys. Rev. E* **86** 061503
- [25] Kramb R C, Zhang R, Schweizer K S, Zukoski C F 2011 *J. Chem. Phys.* **134** 014503
- [26] Xu W S, Duan X, Sun Z Y, An L J 2015 *J. Chem. Phys.* **142** 224506
- [27] Takae K, Onuki A 2013 *Phys. Rev. E* **88** 042317
- [28] Toxvaerd S, Schröder T B, Dyre J C 2009 *J. Chem. Phys.* **130** 224501
- [29] Champion J A, Katare Y K, Mitragotri S 2007 *PNAS* **104** 11901
- [30] Liu H X, Chen K, Hou M Y 2015 *Acta Phys. Sin.* **64** 116302 (in Chinese) [刘海霞, 陈科, 厚美瑛 2015 物理学报 **64** 116302]
- [31] Chen K 2017 *Acta Phys. Sin.* **66** 178201 (in Chinese) [陈科 2017 物理学报 **66** 178201]
- [32] Gasser U 2009 *J. Phys.: Condens. Matter* **21** 203101
- [33] Kawasaki T, Araki T, Tanaka H 2007 *Phys. Rev. Lett.* **99** 215701
- [34] Zhang Z, Yunker P J, Habdas P, Yodh A G 2011 *Phys. Rev. Lett.* **107** 208303

# Glass transition in binary mixture of colloidal ellipsoids and spheres\*

Sun Yan-Li Wang Hua-Guang Zhang Ze-Xin<sup>†</sup>

(Centre for Soft Condensed Matter Physics and Interdisciplinary Research, Soochow University, Suzhou 215006, China)

( Received 2 February 2018; revised manuscript received 16 March 2018 )

## Abstract

The nature of glass and glass transition are considered to be one of the most fundamental research problems in condensed matter physics. Colloidal suspension provides a novel model system for studying glass and glass transition, since the structures and dynamics of a colloidal system can be quantitatively probed by video microscopy. Traditional systems for studying glass transition typically are single-component systems composed of either isotropic or anisotropic colloidal particles. Recently, glass transition of mixture of isotropic and anisotropic colloids has attracted great attention, such as the observation of rotational glass and translational glass, and the establishment of the two-step glass transition. Similarly, computer simulations have also shown that mixture of isotropic and anisotropic colloidal particles could manifest interesting, new glassy behaviors. However, the experimental study of the glass transition in such a colloidal mixture is still rare. In this paper, we experimentally investigate the glass transition of a binary mixture of colloidal ellipsoids and spheres. The colloidal spheres are polystyrene microspheres with a diameter of 1.6  $\mu\text{m}$ , and the ellipsoids are prepared by physically stretching from polystyrene microspheres of 2.5  $\mu\text{m}$  in diameter. The major and minor axes of the as-prepared ellipsoid are 2.0  $\mu\text{m}$  and 1.2  $\mu\text{m}$ , respectively. The mixture is confined between two glass slides to make a quasi-two-dimensional sample. To prevent the mixture from crystallizing, the mixing ratio of ellipsoids and spheres is chosen to be 1/4 in number, which is similar to the mixing ratio used in the classical Kob-Anderson model of binary sphere mixture. We systemically increase the area fraction of colloidal mixture to drive the glass transition. We then employ bright-field video microscopy to record the motion of the particles in the colloidal suspension at a single particle level, and the trajectories of individual particles are obtained by standard particle tracking algorithm. Through the analysis of radial distribution function, Voronoi diagram and local order parameter, we find that the ellipsoids can effectively inhibit the spheres from crystalizing, and the structure of the system remains disordered when increasing the area fraction. For dynamics, mean square displacement and self-intermediate scattering function are calculated. We find that the dynamic process of the system slows down substantially when increasing the area fraction, and the relaxation time of the system increases rapidly and diverges close to the glass transition point predicted by the mode coupling theory. Moreover, we analyze the fast particles that participate in cooperative rearrangement regions (CRRs) in the system, and find that the shapes, sizes and positions of CRRs are closely related to the locations of the ellipsoids in the system.

**Keywords:** colloidal glass, structure, dynamics, mode coupling theory

**PACS:** 64.70.P-, 64.70.kj, 64.70.pv

**DOI:** 10.7498/aps.67.20180264

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 11574222, 21522404) and the Natural Science Foundation of the Jiangsu Higher Education Institutions of China (Grant No. 17KJB140020).

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail: [zhangzx@suda.edu.cn](mailto:zhangzx@suda.edu.cn)