

【学术前沿动态】复杂系统之非晶态粒子运动及动物的群体运动——诺贝尔物理学奖相关论文分析（二）

如果给出一道选择题：“玻璃是括号所列的哪一种形态？（A.固态 B.液态 C.气态）”，在完成本报告之前，我会毫不犹豫地选 A，您的选择又是什么呢？在没有接触和了解物质的微观聚集形态之前，我们被“物质三态”的宏观认知所固化，自然会不假思索地做出自认为毫无悬念的选择。

2021 年，诺贝尔物理学奖一半奖金的获得者乔治·帕里西，其不仅研究物质（尤其是玻璃）的微观结构和粒子运动，而且还研究鸟类（中观）的群体运动（无序的复杂运动）。本报告科普与科研并举，图文并茂，普通读者与科研工作者皆宜。施引文献和参考文献的聚类关键词以及起桥梁纽带作用的关键词一道列出更为完整地展现了各聚类特征。

一、 总体概况

本报告的数据来源于 SCIE 和 SSCI，由获奖人乔治·帕里西本人的相关主题文献及这些文献的施引文献两部分组成。文献类型限 Article，通过检索精炼、排除和数据预处理多重把关获得有效记录 10426 条。利用 Citespace 对数据进行了词频统计和词语突现分析。

高频词被粗略地分为研究对象、现象和研究方法三组以增强可读性和理解性。图 1 中彩色词是高频词，灰色词，例如沥青为说明词。高频词中有一部分用汉语词汇代替，是为了解决英语词汇过长或词频相对偏小无法正常显示的问题。图 1 显示，研究对象主要是玻璃，包括自旋玻璃、伊辛自旋玻璃和玻璃系统。无定型固体（可看作过冷液体，有时也称过冷液体）为非晶态固体，图中把手中的词是其常见物质。除了物质类研究对象外，研究对象还有普适性和涨落-耗散关系以及动物群。

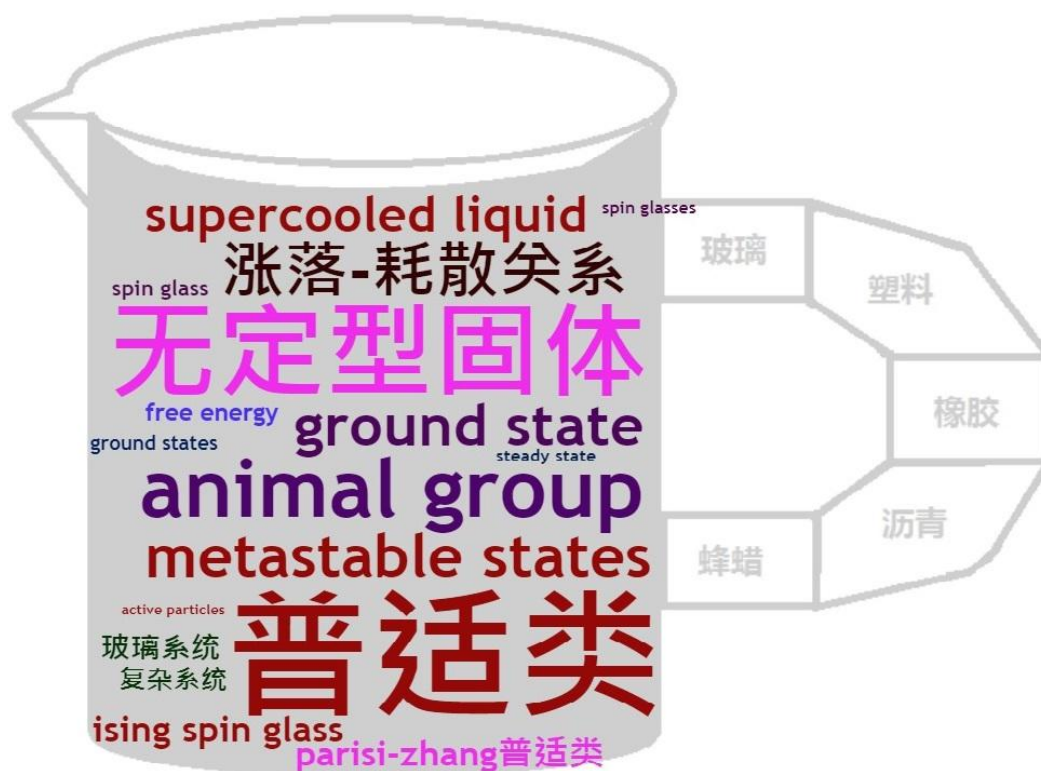


图 1：高频词—研究对象

现象分为两大类，其与前述研究对象相对应，一是非晶态物质随温度变化到达临界点时所发生的转变，二是动物群集体行为和集体运动。玻璃化转变和相位转变是出现频率最高的词。

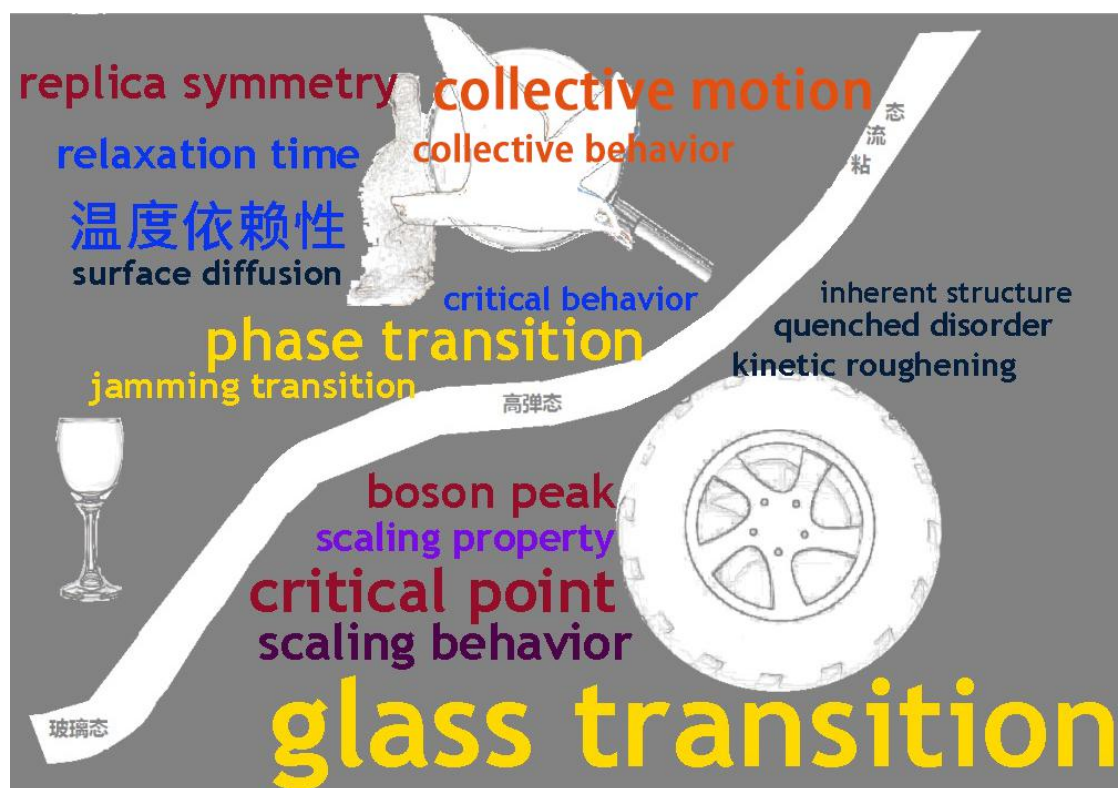


图 2：高频词—现象

方法中涉及各种模拟、模型（模式）和方程，其中出现频率最高的是数值模拟（频率太高，词云无法显示），此外还有图示，如能量地貌和随机图。竖线（vertical bar）是文摘数据库将原文摘要中数学符号转化后的词语表达，这个词出现在高频词中说明所分析的文献含有大量的竖线数学符号。

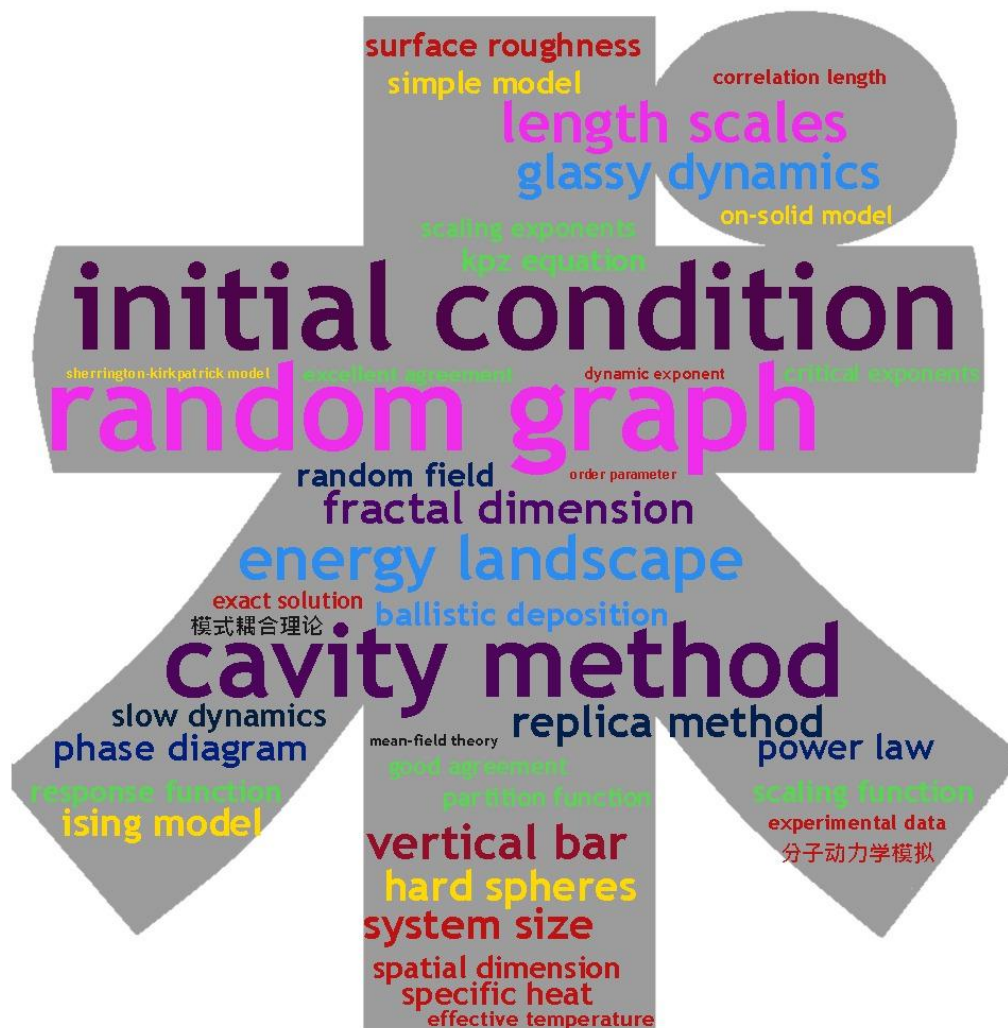
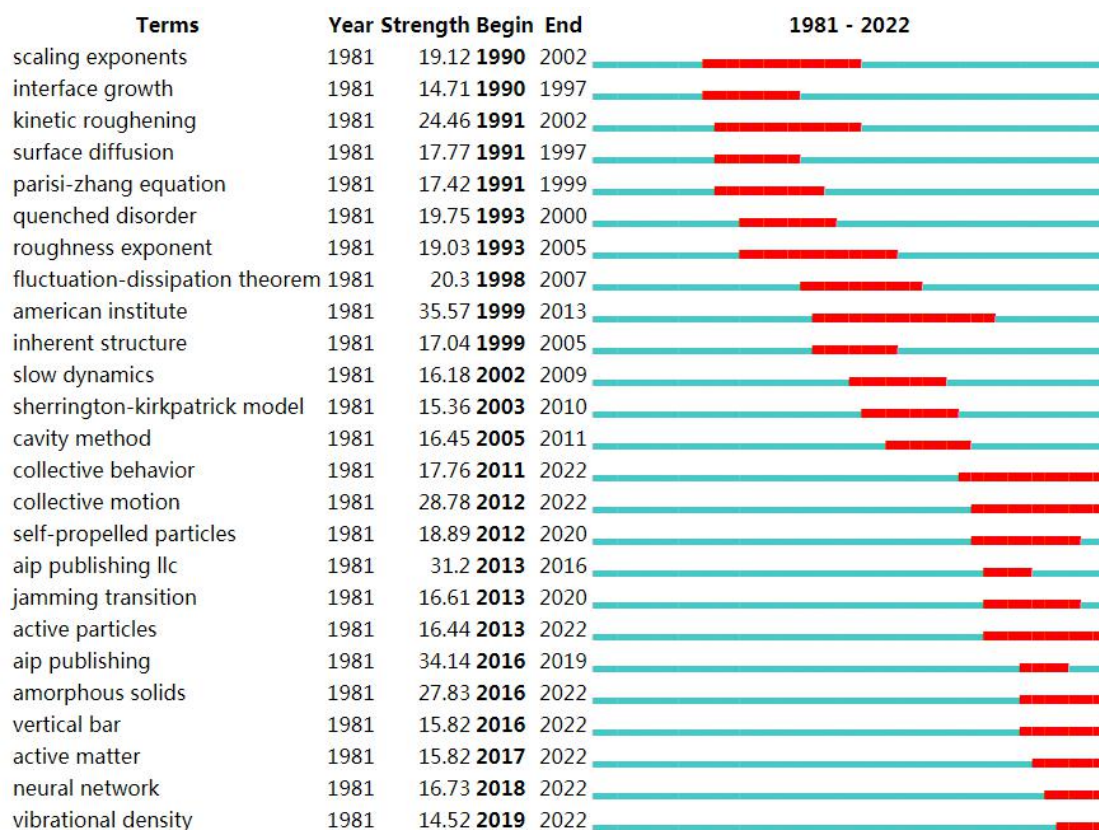


图 3：高频词—研究方法

突现词（解释参见“[诺贝尔物理学奖相关论文分析（一）](#)”）分析共计获得 327 个突现词，前 25 个最强的突现词见表 1。“集体行为”和“集体运动”近 10 年来研究火热，分别从 2011 年和 2012 年起至今“高热”不退。活性粒子（active particle）、无定型固体、活性物质、神经网络和振动密度（vibrational density）是近几年的研究热点。“vertical bar”近 5 年来持续“高热”说明复杂系统研究近几年采用了新的数学描述符号，相关主题算法研究与应用的研究者可以关注。高频词中“AIP publishing”表明那些年很多文献注明了出处，即由美国物理联合会出版发行。

表 1：前 25 个最强突现词年分布



二、 研究热点

对 2020 年以来的相关文献聚类分析共获得 16 个聚类。本报告将分析前 10 个聚类的关键词信息。着重列出被引频次高的被引文献，视情况列出部分引用文献涵盖本聚类节点多的文献。

0 号聚类是最大聚类，核心词是无序系统（disordered systems）。聚类关键词成员还包括拥挤转变（jamming transition）和结构法(structural approach)。0 号聚类相关文献的参考文献的高频词（频次>10）有 amorphous solids, boson peak; vibrational density; jamming transition; disordered system; metallic glasses; 起重要纽带作用的关键词有 boson peak, structural glasses, critical exponents, swap monte carlo algorithm。对本聚类感兴趣的研究人员可关注这三类词，特别是其存在交叠的词。本聚类总被引频次较高的文献有【0-1】（被引频次为 12，数据截止 2021 年 11 月初，下同）、【0-2】（被引频次为 12）、【0-3】（被引频次为 11）和【0-4】（被引频次为 9，引用文献涵盖本聚类的节点较多）。这些是本聚类的“热点”文献（以下各聚类省略不表）。文献【0-5】引用文献涵盖本聚类的节点最多。

- 【0-1】 KUMAR, A (2020.0) [Exponentially faster cooling in a colloidal system](#). NATURE, V584, P20 DOI 10.1038/s41586-020-2560-x
- 【0-2】 IKEDA, A (2020.0) [Universal relaxation dynamics of sphere packings below jamming](#). PHYSICAL REVIEW LETTERS DOI 10.1103/PhysRevLett.124.058001
- 【0-3】 DAS, P (2020.0) [Unified phase diagram of reversible-irreversible, jamming, and yielding transitions in cyclically sheared soft-sphere packings](#). PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA DOI 10.1073/pnas.1912482117

- 【0-4】 PRIEZJEV, NV (2020.0) [Shear band formation in amorphous materials under oscillatory shear deformation](#). METALS DOI 10.3390/met10030300
- 【0-5】 CUI, BY (2020.0) [Vibrational density of states of amorphous solids with long-ranged power-law-correlated disorder in elasticity](#). EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL E DOI 10.1140/epje/i2020-11995-2

1 号聚类核心词是相位分离 (phase separation)，本聚类涉及动物，还可参见 6 号聚类。聚类关键词成员还包括自旋玻璃 (spin glass) 和活性粒子 (active particle)。1 号聚类相关文献的参考文献的高频词 (频次>10) 有 collective behavior, collective motion, active particles, animal group, biological system。未见起重要纽带作用的关键词，但集体运动 (或行为) 是联系本聚类微观研究对象 (粒子) 与中观研究对象 (动物, 例如鱼群、鸟群) 的纽带。起较重要纽带作用的关键词有 animal group, active particle, biological system, equilibrium state, collective behaviour。本聚类总被引频次较高的文献有【1-1】 (被引频次为 25)、【1-2】 (被引频次为 9) 和【1-3】 (被引频次为 8)。文献【1-4】被引次数为 5，引用文献涵盖本聚类的节点多，为本聚类微观研究对象的代表文献。

- 【1-1】 SMREK, J (2020.0) [Active topological glass](#). NATURE COMMUNICATIONS DOI 10.1038/s41467-019-13696-z
- 【1-2】 HAN, K (2020.0) [Emergence of self-organized multivortex states in flocks of active rollers](#). PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA DOI 10.1073/pnas.2000061117
- 【1-3】 TANIDA, S (2020.0) [Gliding filament system giving both global orientational order and clusters in collective motion](#). PHYSICAL REVIEW E DOI 10.1103/PhysRevE.101.032607
- 【1-4】 MALONEY, RC (2020.0) [Clustering and phase separation in mixtures of dipolar and active particles in an external field](#). LANGMUIR, V36, P10 DOI 10.1021/acs.langmuir.0c00516

2 号聚类核心词是伊辛模型 (Ising model)。聚类关键词成员还包括相位图 (phase diagram) 和相关长度 (correlation length)。2 号聚类相关文献的参考文献的高频词 (频次>=15) 有 glass transition, correlation length, spatial dimension, ising model, mean-field theory, system size, phase diagram, thermodynamic limit。起重要纽带作用的关键词有 relaxation time, critical exponent。本聚类总被引频次较高的文献有【2-1】 (被引频次为 45)、【2-2】 (被引频次为 20)、【2-3】 (被引频次为 18)、【2-4】 (被引频次为 13) 和【2-5】 (被引频次为 12)。

- 【2-1】 BAPST, V (2020.0) [Unveiling the predictive power of static structure in glassy systems](#). NATURE PHYSICS, V16, P19 DOI 10.1038/s41567-020-0842-8
- 【2-2】 ROQUES-CARMES, C (2020.0) [Heuristic recurrent algorithms for photonic ising machines](#). NATURE COMMUNICATIONS DOI 10.1038/s41467-019-14096-z
- 【2-3】 SHANG, BS (2020.0) [Elastic avalanches reveal marginal behavior in amorphous solids](#). PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA DOI 10.1073/pnas.1915070117
- 【2-4】 DEY, S (2020.0) [Destruction of long-range order in noncollinear two-dimensional antiferromagnets by random-bond disorder](#). PHYSICAL REVIEW B DOI 10.1103/PhysRevB.101.020411

【2-5】 GAO, M (2020.0) [Separating beta relaxation from alpha relaxation in fragile metallic glasses based on ultrafast flash differential scanning calorimetry](#). PHYSICAL REVIEW MATERIALS DOI 10.1103/PhysRevMaterials.4.025602

3 号聚类是算法类，核心词是 parisi-zhang 方程 (parisi-zhang equation)。聚类关键词成员还包括大偏差 (large deviations) 和 KPZ 方程 (KPZ equation)。3 号聚类相关文献的参考文献的高频词 (频次>10) 有 initial condition, vertical bar, free energy, KPZ equation, parisi-zhang equation, correlation function, scaling exponents 和 large deviations。未见起重要纽带作用的关键词。起准纽带作用的关键词是 boundary condition 和 parisi-zhang equation。本聚类总被引频次较高的文献有【3-1】 (被引频次为 13)、【3-2】 (被引频次为 12)、【3-3】 (被引频次为 9)、【3-4】 (被引频次为 8) 和【3-5】 (被引频次为 7, 引用文献涵盖本聚类的节点最多)。

【3-1】 MAKEY, G (2020.0) [Universality of dissipative self-assembly from quantum dots to human cells](#). NATURE PHYSICS, V16, P22 DOI 10.1038/s41567-020-0879-8

【3-2】 KRAJNIK, Z (2020.0) [Kardar-parisi-zhang physics in integrable rotationally symmetric dynamics on discrete space-time lattice](#). JOURNAL OF STATISTICAL PHYSICS, V179, P21 DOI 10.1007/s10955-020-02523-1

【3-3】 CORWIN, I (2020.0) [Lower tail of the kpz equation](#). DUKE MATHEMATICAL JOURNAL, V169, P67 DOI 10.1215/00127094-2019-0079

【3-4】 KRAJENBRINK, A (2020.0) [Replica bethe ansatz solution to the kardar-parisi-zhang equation on the half-line](#). SCIPOST PHYSICS DOI 10.21468/SciPostPhys.8.3.035

【3-5】 BARRAQUAND, G (2020.0) [Half-space stationary kardar-parisi-zhang equation](#). JOURNAL OF STATISTICAL PHYSICS, V181, P55 DOI 10.1007/s10955-020-02622-z

4 号聚类核心词是泊松最后通道渗透 (poissonian last passage percolation)。聚类关键词成员还包括重量分布 (weight profile, 注释: refer to scaled geodesics as polymers and their scaled energies as weights) 和聚合物波动 (polymer fluctuation)。4 号聚类相关文献的参考文献的高频词 (频次>=10) 有 parisi-zhang universality class, spin glasses, power law 和 field theory; 起重要纽带作用的关键词有 extensive numerical simulations 和 field theory。本聚类总被引频次较高的文献有【4-1】 (被引频次为 17)、【4-2】 (被引频次为 10) 和【4-3】 (被引频次为 7)。

【4-1】 DE NARDIS, J (2020.0) [Universality classes of spin transport in one-dimensional isotropic magnets: the onset of logarithmic anomalies](#). PHYSICAL REVIEW LETTERS DOI 10.1103/PhysRevLett.124.210605

【4-2】 BENEDETTI, D (2020.0) [Hints of unitarity at large n in the \$o\(n\)^3\$ tensor field theory](#). JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS DOI 10.1007/JHEP02(2020)072

【4-3】 FRASSEK, R (2020.0) [Non-compact quantum spin chains as integrable stochastic particle processes](#). JOURNAL OF STATISTICAL PHYSICS, V180, P37 DOI 10.1007/s10955-019-02375-4

5 号聚类核心词是慢演化非平衡系统 (slow-evolving nonequilibrium system)。聚类关键词成员还包括固有结构 (inherent structure) 和涨落耗散温度 (fluctuation-dissipation temperature)。5 号聚类相关文献的参考文献的高频词 (频次>10) 有 temperature dependence 和 excellent agreement;起重要纽带作用的关键词有 excellent agreement。本聚类总被引频次较高的文献有【5-1】 (被引频次为 12)、【5-2】 (被引频次为 6) 和【5-3】 (被引频次为 5)。文献【5-4】引用文献涵盖本聚类的节点最多, 被引次数为 3。

- 【5-1】 WEINER, F (2020.0) [High-temperature spin dynamics in the heisenberg chain: magnon propagation and emerging kardar-parisi-zhang scaling in the zero-magnetization limit](#). PHYSICAL REVIEW B DOI 10.1103/PhysRevB.101.045115
- 【5-2】 MIZUNO, H (2020.0) [Sound damping in glasses: interplay between anharmonicities and elastic heterogeneities](#). PHYSICAL REVIEW B DOI 10.1103/PhysRevB.101.174206
- 【5-3】 TANAKA, H (2020.0) [Role of many-body correlation in slow dynamics of glass-forming liquids: intrinsic or perturbative](#). JOURNAL OF STATISTICAL MECHANICS-THEORY AND EXPERIMENT DOI 10.1088/1742-5468/ab6f61
- 【5-4】 IWATSUKA, T (2020.0) [Direct evidence for universal statistics of stationary kardar-parisi-zhang interfaces](#). PHYSICAL REVIEW LETTERS DOI 10.1103/PhysRevLett.124.250602

6 号聚类研究对象是动物和昆虫，本聚类涉及的动物有鸽子、蜜蜂和蠕虫，另外还可以参考 1 号聚类。核心词是整个蜜蜂群 (entire honey bee colony)。聚类关键词成员还包括无标记跟踪 (markerless tracking) 和飞行编队机制 (flight formation mechanism)。6 号聚类相关文献的参考文献的高频词 (频次>10) 有 neural network, experimental data 和 collective dynamics; 起重要纽带作用的关键词是 collective dynamics。本聚类总被引频次较高的文献有【6-1】(被引频次为 4)、【6-2】(被引频次为 4)、【6-3】(被引频次为 3)。文献【6-4】引用文献涵盖本聚类的节点最多，被引次数为 2。

- 【6-1】 CAPORALETTI, F (2021.0) [Experimental evidence of mosaic structure in strongly supercooled molecular liquids](#). NATURE COMMUNICATIONS DOI 10.1038/s41467-021-22154-8
- 【6-2】 SARFATI, R (2020.0) [Spatio-temporal reconstruction of emergent flash synchronization in firefly swarms via stereoscopic 360-degree cameras](#). JOURNAL OF THE ROYAL SOCIETY INTERFACE DOI 10.1098/rsif.2020.0179
- 【6-3】 OZKAN-AYDIN, Y (2021.0) [Collective dynamics in entangled worm and robot blobs](#). PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA DOI 10.1073/pnas.2010542118
- 【6-4】 BOZEK, K (2021.0) [Markerless tracking of an entire honey bee colony](#). NATURE COMMUNICATIONS DOI 10.1038/s41467-021-21769-1

7 号聚类核心词是自组织的临界行为 (self-organized critical behavior)。聚类关键词成员还包括湍流环境 (turbulent environment) 和平均场预测 (mean-field prediction)。7 号聚类相关文献的参考文献的高频词 (频次>10) 有 phase transition, universality class, critical point 和 critical behavior; 起重要纽带作用的关键词有 critical property, critical point 和 critical state。本聚类总被引频次较高的文献有【7-1】(被引频次为 9)、【7-2】(被引频次为 9)、【7-3】(被引频次为 6) 和【7-4】(被引频次为 5)。文献【7-1】引用文献涵盖本聚类的节点最多。

- 【7-1】 CAMPO, M (2020.0) [Dynamical coexistence in moderately polydisperse hard-sphere glasses](#). JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS DOI 10.1063/1.5134842
- 【7-2】 ZHOU, YX (2020.0) [Integral equation theory of thermodynamics, pair structure, and growing static length scale in metastable hard sphere and weeks-chandler-andersen fluids](#). PHYSICAL REVIEW E DOI 10.1103/PhysRevE.101.042121
- 【7-3】 BERTHIER, L (2020.0) [Finite dimensional vestige of spinodal criticality above the dynamical glass transition](#). PHYSICAL REVIEW LETTERS DOI 10.1103/PhysRevLett.125.108001

【7-4】KALININ, KP (2020.0) [Toward arbitrary control of lattice interactions in nonequilibrium condensates](#). ADVANCED QUANTUM TECHNOLOGIES DOI 10.1002/qute.201900065

8 号聚类核心词是强遍历性破坏 (strong ergodicity breaking)。聚类关键词成员还包括平均场自旋玻璃 (mean-field spin glasses) 和反一致交互 (anti-alignment interaction)。8 号聚类相关文献的参考文献的高频词 (频次>10) 有 active matter 和 many-body system; 起重要纽带作用的关键词是 length scales。本聚类总被引频次较高的文献有【8-1】(被引频次为 9)、【8-2】(被引频次为 8)、【8-3】(被引频次为 6) 和【8-4】(被引频次为 6)。

【8-1】HAN, K (2020.0) [Emergence of self-organized multivortex states in flocks of active rollers](#). PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA DOI 10.1073/pnas.2000061117

【8-2】AMELIO, I (2020.0) [Theory of the coherence of topological lasers](#). PHYSICAL REVIEW X DOI 10.1103/PhysRevX.10.041060

【8-3】PAPPALARDI, S (2020.0) [Quantum echo dynamics in the sherrington-kirkpatrick model](#). SCIPOST PHYSICS DOI 10.21468/SciPostPhys.9.2.021

【8-4】ROMENSKYY, M (2020.0) [Quantifying the structure and dynamics of fish shoals under predation threat in three dimensions](#). BEHAVIORAL ECOLOGY, V31, P11 DOI 10.1093/beheco/arz197

9 号聚类核心词是表面粗糙度 (surface roughness)。聚类关键词成员还包括有效温度 (effective temperature) 和活性粒子密度 (active particle density)。9 号聚类相关文献的参考文献的高频词 (频次>10) 有 previous study 和 computer simulations; 起重要纽带作用的关键词有 family-vicsek scaling 和 computer simulations。本聚类总被引频次较高的文献有【9-1】和【9-2】，他们的被引频次均为 3。

【9-1】PONCET, A (2021.0) [Pair correlation of dilute active brownian particles: from low-activity dipolar correction to high-activity algebraic depletion wings](#). PHYSICAL REVIEW E DOI 10.1103/PhysRevE.103.012605

【9-2】MYINT, P (2021.0) [De gennes narrowing and relationship between structure and dynamics in self-organized ion-beam nanopatterning](#). PHYSICAL REVIEW LETTERS DOI 10.1103/PhysRevLett.126.016101

因学科专业所限，难免出错，敬请批评指正；同时，也面向全校师生征集关注的领域和专题。联系方式：68779089，Email: xcliao@lib.whu.edu.cn

(编辑：廖祥春 审核：刘霞)