无序中找有序 复杂中寻规律

■汪卫华

冰河时代为什么会周期性重复出现？是否有关于混沌和湍流系统更一般的数学描述？成千上万只椋鸟的喃喃声中究竟有怎样的规律？

人们或许能从 2021 年诺贝尔物理学奖得主、意大利科学家 Giorgio Parisi（帕里西）的工作中找到答案。

10 月 5 日，诺贝尔物理学奖授予日裔美籍科学家真锅淑郎、德国科学家 Klaus Hasselmann 和帕里西。其中，帕里西因“发现了从原子到行星尺度的物理系统中无序和波动的相互作用”获奖。

这也是诺贝尔奖第五次颁发给无序体系相关的工作。其他 4 位因从事和非晶相关的工作而获得诺贝尔奖的科学家是 P.J.Flory（1974）、P.W.Anderson（1977）、N.F.Mott（1977）和高锟（2008）。

无序系统中序和规律研究大师

帕里西是位善于从无序中发现有序、在复杂材料中发现隐藏规律的大师。

他的主要贡献是最早给出了被认为是非平行体系中最简单的数学模型——自旋玻璃模型中的严格解。作为一个典型的无序体系，自旋玻璃相对结构无序的非晶玻璃而言更简单，此时无序的不再是原子的结构位置，而是原子的自旋。

早在上世纪 70 年代，普林斯顿大学教授 P.W.Anderson 和 S.F.Edwards 就提出了“复本法”，并结合平均场理论初步探讨了自旋玻璃中的复杂数学。所谓复本可以简单类比于上文所述不同次相同的冷却过程所形成的不同无序图案。其后，David Sherrington 和 Scott Kirkpatrick 构造了无穷维下自旋玻璃的模型，并利用 Anderson 等人的理论方法严格求解。然而，计算结果表示系统的熵在零温下是负值，违反了热力学第三定律。

1978 年，帕里西在规范场理论的研究中也借用了“复本法”，从而关注到自旋玻璃的负熵悖论。他很快意识到“复本法”的核心在于创建系统在平行时空下的复制样本，并利用复制样本之间的对称性将其分类；而平均场理论仅凭单个序参量去分类，以简单粗暴的方式去“破缺复本对称性”，从而导致了负熵问题。

因此，帕里西天才地引入了逐级分类方法，先将复本分为若干大类，然后将大类分为若干子类，再将子类分为更小的子类，以此类推。每一级分类都对应一个序参量，而无穷多个序参量组合成一个神奇的数学函数，并解决了自旋玻璃中的负熵问题。

总之，针对自旋玻璃系统，帕里西发展了一套有效的数学方法，并给出了一个精确的理论解。

在 1992 年获得波尔兹曼奖章时，帕里西就指出“这是无序系统历史上最重要的突破之一”。

帕里西理论在其他复杂体系的应用

帕里西在自旋玻璃研究中发展出来的理论很快就被扩展到其他的无序体系，诸如结构玻璃、阻塞系统、恒星运动。他对自旋玻璃本质的发现如此深入，以至于这个理论不仅影响了物理学界，同时影响了数学、生物学、神经科学甚至机器学习。在计算机科学研究领域，帕里西的方法也有着重要应用。这是由于这些领域研究的问题均与阻挫行为有关。

帕里西研究了许多其他复杂现象，所有复杂的系统都是随机、紊乱的，都由许多相互作用的不同部分组成，很难用数学来描述这些现象，随机的过程在结构的创建和发展过程中起着决定性作用。

复杂系统也是一个涵盖多个学科的交叉领域，它并没有一个明确的、通用的定义。帕里西定义了复杂系统：如果一个系统的行为在很大程度上依赖于系统的细节，那么它就是复杂的。他进而将复杂系统行为的研究看作是一场概念的革命、一场范式的转变。

以往的科学家往往想用最自然的方式理解这个世界，也就是说如果我们想办法了解系统的各个组成部分，并且明白它们是如何整合在一起的，那么我们便能理解这个系统了，这就是还原论的思想。

然而，在处理复杂系统问题时，还原论失败了。

可以设想一下，如果一个系统对初始条件极其敏感，微小的变化会导致巨大的不同（混沌），那么人们将很难对此进行数值模拟，仅仅通过对简单个体行为的研究已远不能理解复杂的集体行为。

我们的生活中充满了各种各样的复杂系统，从蝴蝶效应和湍流，到沙子的阻塞行为，到候鸟的集群效应、冰河时代的变迁，再到复杂的神经网络，所有由个体简单行为相互作用产生的集体行为系统，都可以称为复杂系统。在材料科学领域，典型的复杂无序体系即为各种各样的玻璃态物质，比如地球上久远存在的黑曜石玻璃，还有人们广泛使用的硅化物玻璃、新型的金属玻璃等。

材料学中的复杂体系为普遍规律的研究提供了简单而丰富的模型体系。比如我们可以使用小球模型描述玻璃物质的形成过程：在温度较高或者说体积很大的时候，这些小球彼此分散，而当温度下降或者压力升高时，这些小球将会逐渐凝聚为固体，这些固体通常会凝聚为晶体，如果过程足够迅速，这些小球将形成一种无序的不规则状态即非晶状态。

事实上，现在科学已经证明几乎任何物质包括单质的金属在足够快的冷却速度下都可以变成无序的非晶态。如果重复这一过程，尽管小球仍然以无序的方式堆积，却会呈现出新的不同的图案。

为什么会产生不同的结果呢？帕里西的工作即在这些看似无关的不同无序图案中发现了隐藏的结构和隐藏的规律，并找到了一种数学描述方法。

列举的这些复杂体系似乎与自旋玻璃相去甚远，然而，帕里西是个思维很跳跃的物理学家，他能从一个问题很自然地联系到另一个问题。他从事鸟群研究的故事就是一个很有启发性的例子。

帕里西在罗马大学的办公室周围有一群欧椋鸟，这种鸟一到傍晚就会成千上万只一起飞。帕里西因此问了一个问题——这些鸟每秒能飞 20~30 米，它们飞翔的时候之间间隔大概有几米，什么样的机制让欧椋鸟在高速飞行中保持同步、不撞到其他鸟？

鸟群是一个复杂系统，每只鸟的位置在空间上是无序的，但鸟群整体可以呈现出高度有序的集体飞行。为了理解鸟群中集体飞行的产生机制，帕里西和团队发展了一个三维成像系统，积累了大量鸟群的飞行数据，从而发展了一个鸟群的相互作用模型，定量地解释了鸟群中集体飞行的产生机制。这个简单模型对后期研究各类生物系统中的集体运动有深远影响。

同时，帕里西这种基于实验数据和统计物理的模型构造方法也成了物理学家开展交叉学科研究的重要手段。帕里西的大部分研究都涉及这样简单的行为如何产生复杂的集体行为，这在自旋玻璃这类和椋鸟完全不同的复杂系统中同样适用。有兴趣深入了解的读者可以参阅他新近出版的《简单玻璃的理论》。

启示和展望

今年的诺贝尔物理学奖颁发给了复杂系统研究领域的学者，是近年来复杂系统研究对于基础科学、实际工程应用，乃至于解决人类社会重大问题越来越重要这一大趋势的反映。帕里西获奖也是对非晶物质、复杂体系的探索者的一个新激励。

除了帕里西在无序体系理论方面的贡献，各个领域攻克无序复杂体系的研究人员都做出了重大的努力和推进。

复杂体系的研究大致可以从动力学和结构这两条路径进行研究。结构的角度关注于无序体系在无序结构上的刻画，比如在玻璃材料领域广泛应用的 Voronoi 多面体模型，以及最近在无序堆垛金属玻璃中发现的隐藏的拓扑序等。而动力学角度则关注系统的演化过程，比如我们通过多种方法研究非晶体系的弛豫，发现从金属玻璃、自旋玻璃，到氧化物聚合物玻璃，以至于沙丘等颗粒体系都表现出类似的动力学特征。

虽然方法不同、体系各异，但是不同领域的科学家们都渴望在看似完全随机的无序中去寻找隐藏的有序，在复杂之下探求普遍规律。帕里西的工作为无序体系的研究奠定了重要的基础，未来的科学家必定更加直面世界的无序性和复杂性。《科学》期刊在今年发表的新的 125 个前沿科学问题中也列出了协同运动的基本原理是什么。复杂系统的研究领域仍然充满着许多困难和挑战，但也必然是产生重大科学成果的广阔天地。

（作者系中国科学院院士、松山湖材料实验室主任）

简讯

中科院紫金山天文台发现“紫金山”彗星

本报讯 10 月 8 日，国际小行星中心确认公布了中科院紫金山天文台发现的一颗新彗星，命名为 C/2021S4（Tsuchinshan）。

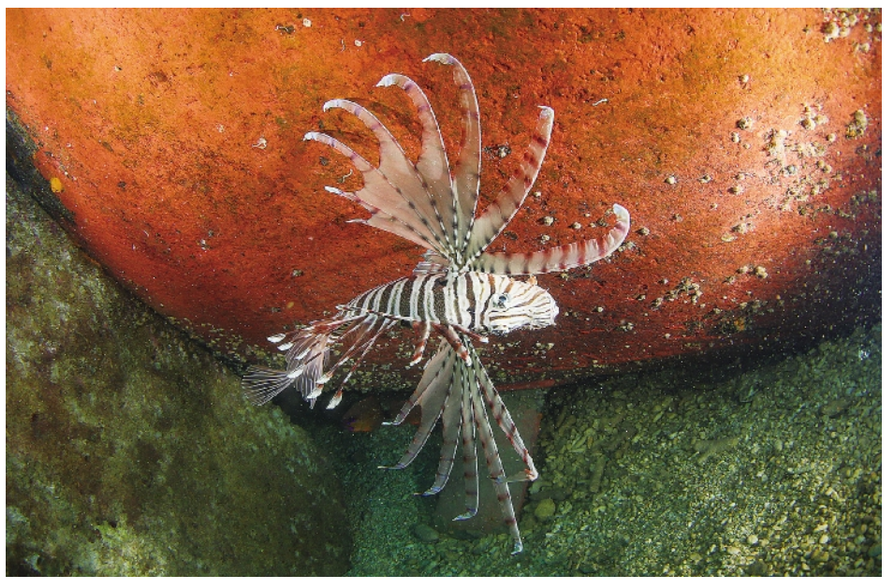
据悉，迄今为止，中科院紫金山天文台已经发现了 7 颗彗星，其中有 5 颗以 Tsuchinshan（紫金山的威妥玛拼音）命名。

据悉，这颗彗星是中科院紫金山天文台盱眙观测站 9 月 29 日发现的。该站 104/120 厘米口径的近地天体探测望远镜是我国目前口径最大的施密特望远镜，是行星科学实测研究的专用设备，致力于太阳星系天体的编目和特性观测，以近地小行星、主带小行星、半人马座小天体、彗星等新天体的发现和监测为主要科学目标，并承担可能对地球构成潜在威胁的近地天体的发现和监测任务，也是我国加入国际小行星预警网的主干望远镜。 **（沈春蕾）**

中国气象局地球系统数值预报中心成立

本报讯 近日，中国气象局地球系统数值预报中心启动会举行。

目前，数值天气预报是天气预报业务的支柱，准确的天气预报，离不开数值预报作为第一依据。新成立的数值预报中心主要承担中国气象局地球系统数值预报技术设计、业务系统研发、检验评估、高性能计算效率优化和并行计算技术研究、开放实验室共建、国际合作交流、应急保障等工作。下一步，该中心将按照要求，加快推进组建工作、建立规章制度、加强模式顶层设计、强化开放合作创新。 **（辛雨）**



秋日的分界洲岛海域，一条狮子鱼在海中游动。

分界洲岛位于海南陵水黎族自治县，其周边海域生态系统为典型的珊瑚礁生态系统。过去，海底珊瑚因不法人员盗采损毁严重，海底生态受到严重破坏。海南分界洲岛旅游区自 2004 年起联合海南省海洋与渔业科学院开展珊瑚保育工作。经过十多年的保护，目前分界洲岛旅游区海域珊瑚覆盖率达 34%，部分浅水区域珊瑚覆盖率达到 40%~50%，海洋生物也逐渐多了起来。 **新华社记者杨冠宇摄**

让更多青年科技人才挑大梁

■本报记者 高雅丽

“通过认真学习会议精神，我们备受鼓舞、心潮澎湃，充分感受到了党中央对科技人才的重视和关心。”

“建设世界重要人才中心和创新高地这项任务艰巨而光荣，青年科技工作者应责无旁贷挑起这副沉甸甸的担子。”

……

近日，中国科协召开青年科技人才代表学习贯彻中央人才工作会议精神座谈会。与会青年科技人才代表纷纷表示，要以老一辈科学家为榜样，身怀爱国之心、砥砺报国之志，心怀“国之大者”，助力建设世界科技强国。

勇挑科技创新大梁

“要造就规模宏大的青年科技人才队伍，把培育国家战略人才力量的政策重心放在青年科技人才上，支持青年人才挑大梁、当主角。”中央人才工作会议充分体现了对青年科技人才的信任、帮助和支持。

中科院古脊椎动物与古人类研究所研究员付巧妹长期潜心基础研究。她表示：“中央人才工作会议让我们青年科研人员很受鼓舞，感受到中央针对青年人才面临的困境有非常实在的政策。”

付巧妹认为，在“从无到有”的创新过程中，要给青年科研人员容错空间，建立以信任为基础的人才使用机制，从思想上、行动上为科研人员松绑。

中央人才工作会议还提出要制定实施基础研究人才专项，长期稳定支持一批在自然科学领域取得突出成绩且具有明显创新潜力的青年人才。

北京航空航天大学集成电路科学与工程学院院长赵巍胜讲述了邓稼先 30 多岁就承担“两弹一星”研制重要任务的故事。他认为围绕重点科研领域和急需紧缺岗位，要有用人的魄力，制定特殊政策，不能“论资排辈”。

天津大学副校长巩金龙表示，要按照国家战略需求做好技术体系顶层设计，重点引进能够突破关键技术、发展高新技术产业、带动新兴学科的战略人才和领军人才。他特别提到，工科教育偏向理论化是需要重视的现象，“要以新工科为引领，加强青年卓越工程师的培养，提升全口径青年学生、学者工程创新能力和工程实践能力”。

用好人才评价“指挥棒”

中央人才工作会议提出，要完善人才评价体系，加快建立以创新价值、能力、贡献为导向的人才评价体系，形成并实施有利于科技人才潜心研究和创新的评价体系。

电子科技大学材料与能源学院副院长刘明侦认为，突破性科研成果需要时间的求证和经验的积累，针对基础研究，可以适当扩展一些项目的研究自主权，在项目实施阶段进行阶段性评估或采用后评价机制，让大家着眼长远，做出实实在在的突破。

“学术上敢讲真话、说实话，保持自己独有科研特性，这应该成为所有青年科研工作者的共同追求。”刘明侦说。

中国医学科学院北京协和医院青年工作部部长吴南结合工作实际，提出建立完善的人才分类评价体系，对青年医务工作者实行分层考核机制。“对于顶尖医院的医务工作者，还是既要做临床又要做科研。对于青年医务工作者，也要考虑社会和专业的认可度，以及是否有解决问题和凝练问题的能力。”

形成战略科学家成长梯队

中央人才工作会议提到，要坚持长远眼光，有意识地发现和培养更多具有战略科学家潜质的高层次复合型人才，形成战略科学家成长梯队。

赵巍胜认为，战略科学家要长期奋斗在科研第一线，只有在科研第一线才能把握住科研重点和方向。

“爱国情怀是培养战略科学家最重要的前提，战略科学家和普通科技工作者最大的区别在于前者拥有战略视野。”军事科学院系统工程研究院研究员何元智认为，要为青年科学家搭建理论、技术融合的平台，提供跨专业、跨领域、跨学科的跨界融合机制体制，打造科研高地，实施国际大学术计划，构建世界一流的学术交流平台，助推青年科学家向战略科学家快速成长。

中科院动物研究所研究员刘光慧表示，未来需要更多举措拓宽青年科学家进言渠道，形成中国主导且具有引领性的大科学计划，为青年科学家向战略科学家成长提供良好路径。

发现·进展

郑州大学第一附属医院

鱼鳔有望用于造血管

鱼鳔可以作为一种潜在的新型血管材料。 **图片来源：unsplash**

本报讯（见习记者刘如楠）10 月 5 日，一项在线发表于《通讯—生物学》上的研究发现，鱼鳔可以作为一种潜在的新型血管材料。

对于下肢动脉硬化闭塞这类疾病的治疗而言，如患者需要进行血管转流，自体静脉是最优选择，具有长期通畅率高、不易感染等优点。但自体静脉和宿主血管管径通常存在不对称的问题，开发适合的新型血管材料尤为重要。半个多世纪以来，人工血管材料通常为涤纶和 ePTFE（聚四氟乙烯），由于这些人工材料的自身理化特性，小口径（小于 6 毫米）血管移植物的长期通畅性仍然较低，这使得血管移植物闭塞，患者面临再次手术甚至截肢风险。

通过观察鱼浮沉时鱼鳔的扩张和收缩，该论文通讯作者、郑州大学第一附属医院腔内血管外科副主任医师白华龙等有了灵感：鱼鳔是否可以作为血管补片和管状移植物呢？

利用组织工程学改造的方法，研究人员将鱼鳔去除细胞并保存结构完整性，使其无免疫原性。而后在其表面黏附抑制细胞增殖的药物——雷帕霉素，将其植入体内后，药物能缓慢释放、抑制内膜增生。动物动脉和静脉系统中的检测结果显示，鱼鳔在体外和体内支持内皮细胞迁移和增殖，可显著抑制内膜增生。

“鱼鳔是一种天然的弹性材料，而且来源广泛。我们的研究变废为宝，证明了它的潜在应用价值，未来或可用于大动物研究，或前期小规模的临床研究。”白华龙告诉《中国科学报》。

相关论文信息：*https://doi.org/10.1038/s42003-021-02696-9*

中科院大连化学物理研究所

开发高性能光热转化石墨烯基复合相变材料

本报讯（记者卜叶）近日，中科院大连化学物理研究所研究员史全团队利用简单易行的合成策略，开发了一种具有高光热转换效率的石墨烯基复合相变材料。该材料具有优异的相变性能和光热转换能力，为大规模制备石墨烯基光热转化复合相变材料提供了新思路。相关研究发表在《化学工程杂志》上。

石墨烯基复合相变材料能够解决相关材料相变过程中的泄漏问题，并具有优异的光吸收能力，在太阳能热转换和存储领域具有潜力。然而，目前石墨烯基复合相变材料的制备方法涉及步骤多，通常比较复杂、耗时且耗能，阻碍了其进一步的实际应用。

针对此问题，史全团队通过一种简单而直接的一步法策略，将聚乙二醇相变材料原位填充到氧化石墨烯网络结构水凝胶中，构建出石墨烯基定型复合相变材料。该材料具有较高的相变材料负载量，经历 1000 个冷热循环后仍可保持稳定的相变焓值，表现出优异的相变储热性能。此外，该材料还展现出色的光热转化能力，可快速将太阳能转化为热能储存于相变材料中，转化效率最高可达 93.7%。

相关论文信息：*https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.132439*

中科院广州地球化学研究所

揭示黑碳参与大气光化学反应促硫酸盐形成机制

本报讯（记者朱汉斌）中科院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室、深地科学卓越创新中心大气环境与空气污染学科组张国华、傅玉珍和毕新慧等人合作研究，提出了黑碳参与大气光化学反应促进硫酸盐形成的观测证据。相关研究近日发表于《地球物理研究杂志：大气》。

作为典型的短寿命气候强迫因子，黑碳通过直接吸收阳光和降低冰雪表面的反射率加剧地球变暖，产生辐射效应，是仅次于二氧化碳的致暖因子。近年来，有研究证据表明，黑碳可能具有光化学活性或作为催化剂影响其大气老化过程。然而，目前仍没有直接证据表明这些内在属性是否（或多大程度上）影响黑碳在实际大气中的老化过程，包括其中二次气溶胶成分的形成和演化。

研究人员使用单颗粒气溶胶质谱仪在单颗粒尺度上有效区分了城市大气中含黑碳和不含黑碳颗粒物，并根据其质谱特征对比研究了其中硫酸盐 / 硝酸盐比值（SNR）的季节 / 昼夜变化特征。在排除了共同来源、硝酸盐形成、过渡金属等混杂因子干扰的基础上，研究发现含黑碳颗粒的 SNR 显著高于不含黑碳颗粒，含黑碳颗粒的 SNR 随单个颗粒中黑碳相对含量增加而增大；SNR 季节峰值出现在夏季和秋季，昼夜峰值出现在午后，与辐射相关参数（即太阳辐射和温度）的变化趋势一致。

研究人员据此推测黑碳参与的光化学作用产生硫酸盐，是含黑碳颗粒中硫酸盐相对富集的主要原因。

“该研究可为更准确解释黑碳在环境大气中的演变和气候影响提供参考依据。”张国华表示，一方面，鉴于黑碳是城市大气颗粒物的重要组成部分，这种作用可能对硫酸盐的形成和演化具有重要贡献，值得进一步定量评估；另一方面，硫酸盐作为中国重污染地区黑碳光吸收增强的主要驱动因素之一，通过这一机制造成其在黑碳颗粒上的相对富集对黑碳光吸收增强的潜在贡献仍有待评估。

相关论文信息：*https://doi.org/10.1029/2021JD035226*

社址：北京市海淀区中关村南一条乙 3 号 邮政编码：100190 新闻热线：010－62580699 广告发行：010－62580707 传真：010－62580899 广告经营许可证：京海工商广登字 20170236 号 零售价：1.20 元 年价：238 元 工人日报社印刷厂印刷 印厂地址：北京市东城区安德路甲 61号