

# 超齐构体： 谜一样的全新物质结构

当圣路易斯华盛顿大学的乔·科尔博(Joe Corbo)教授透过显微镜观察鸡的眼睛时,一些非常奇妙的东西映入了他的视野:分布在鸡视网膜上的、用来感知色彩的视锥细胞竟以斑点状的形态呈现出5种不同大小和颜色。更令科尔博教授感到吃惊的是,鸡的视锥细胞排布呈现出一种从未见过的模式:已知人类的视锥细胞是随机分布的,许多鱼类的视锥细胞则是整齐地一一列排布的,而鸡类的视锥细胞居然是一种同时兼具偶然性和高度均匀性的分布模式。这些视锥细胞的斑点并没有什么特定的分散规律,但

是不同斑点之间的距离总是不远不近。无论是单独考察5种不同视锥细胞的任意一种,还是同时考察所有的视锥细胞,它们都呈现出一种迷人的随机与秩序的统一。

科尔博被这种现象深深地迷住了。他和合著者希望能弄清楚这种视锥细胞呈现的图案的形成过程以及它的功能。不过,此时的他并不知道这些类似问题在此之前是否已经被许多人在不同的情境下问过,还是他通过这些生物学现象首次发现了一条在数学和物理学领域也时常出现的隐藏规律。

## 令人震惊的发现

科尔博觉得,这个问题的答案应该从鸟类视网膜本身的功能去寻找。鸟类的视觉一直非常出色,比如鹰就可以从一公里以外的高空锁定一只小小的老鼠。科尔博的实验室研究的课题,就是鸟类如何从进化性适应中得到如此出色的视力。

与哺乳动物不同,鸟类的眼睛有足够长的时间在演化中优化,它们视锥细胞的数量更多,分布也更为均匀。科尔博教授和他的同行感到困惑的是,为什么鸟类的视锥细胞没有演化出更为完美的秩序规则——比如网格或晶格状排列呢?似乎看起来最有可能的解释是,这种在鸟类视网膜中发现的奇怪的、无法分类的分布是在某种未知约束条件下的最优态。这些约束条件是什么?这种视锥细胞的分布是什么?鸟类的视觉系统是如何变成这样子的?这些问题都还没有答案。生物学家们已经竭尽全力去寻找视网膜上细胞的分布规律,但这属于他们不熟悉的领域,他们需要帮助。

2012年,科尔博教授联系了普林斯顿大学

的理论化学教授萨尔瓦托雷·托尔夸托(Salvatore Torquato),他是研究堆积问题的著名学者。所谓堆积问题,就是研究如何在有限体积中最密集地堆积物体的问题,而在这里,就是研究在鸟类视网膜的二维空间中如何排下最多的五种不同的视锥细胞。托尔夸托对这些视网膜图案的数码相机运行了一些算法,结果让他完全惊呆了。科尔博教授说:“我发现,他在这些视网膜图案中观察到的现象,同样发生于许多无机化学和物理的系统之中。”

托尔夸托从21世纪初就开始研究这种他称之为“超齐构体”的全新分布模式。从那之后,这种现象在不同系统中层出不穷:不仅仅是鸟类的眼睛,准晶体、随机数阵、宇宙的大尺度结构,甚至乳浊液和胶质等软物质系统中都发现了“超齐构体”的身影。而在对“超齐构体”现象研究的这一过程中,他们发现了这种“超齐构体”材料有许多实用的新特性。

## 隐藏的规律

托尔夸托和他的一位同事研究“超齐构体”现象已有13年,为了从理论上阐释这一现象,他们举了一个简单却出人意料例子:“想象你有许多玻璃弹珠,你把它都放进一个瓶子里,使劲摇晃直到所有可移空间都被填满,珠子不再移动。”托尔夸托在他普林斯顿的办公室里说道,“类似这样的系统,就是‘超齐构体’。”

上述情况中玻璃珠子的排布模式在学术上有着专业的名称——最大随机堵塞堆积,这种排布仅填满所有区域的64%,剩下的区域留空。这种排布并不是已知最密集的堆积方式,已知的最密集堆积方式是晶格堆积(想象集装箱里堆满的方式),这种排布能填满总体积的74%。但是晶格排布并不是在所有情况下都能达到的,你不可能轻松地将一盒玻璃弹珠“摇”成无比规则的晶体状分布,更不用说还要使五种不同大小的物体形成规则的晶格,托尔夸托解释道,而这正是鸡类视锥细胞所遇到的困境。

让我们用放在水平桌面上的硬币来代替视锥细胞。“如果你想在桌面上平铺若干枚1

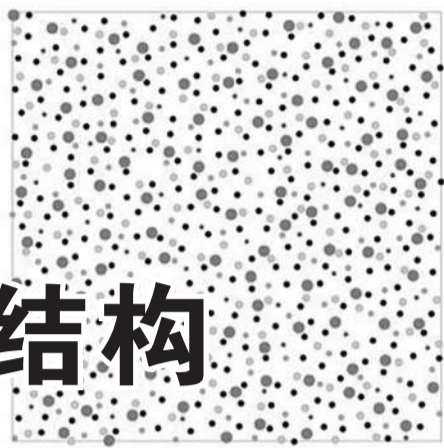
美分硬币,让它们占的总面积最小,你肯定会选择把它们排成最小单位为三角形的一种排布方式。”托尔夸托这么说道,“但如果又加入了若干枚五美分硬币呢?新加入的不同种硬币将会阻碍整个体系形成规则的晶格。而鸟的视网膜中有5种不同的成分——想象桌面上又新添了10美分、25美分,还有其他别的硬币——这必将使得体系的晶格化变得越来越困难。”同理,鸟类的几种视锥细胞大小也各不相同,几何学原理迫使它们无序化,但是在演化过程中无比激烈的竞争又希望视网膜能够尽可能均匀地感光,即希望同种颜色感受细胞相距尽可能远的距离。权衡利弊,“系统最后呈现出来的就是这样一种无序超齐构体。”托尔夸托这样解释。

超齐构体让鸟类在视觉方面最大限度地拥有了两个优势因素:既有多达5种的视锥细胞,又让每种视锥细胞近乎均匀地镶嵌在视网膜上,这带来了鸟类惊人的色彩分辨能力,只不过这种隐藏的规律我们还无法用自己的眼睛感知到。

## 鸡眼睛中的超齐构现象

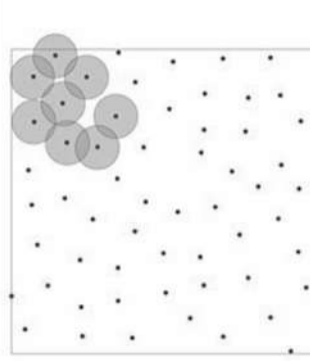
### 乍看之下的无序

下图中的斑点对应着鸡类视网膜上绿色、蓝色、红色、紫色和双色(合并为黑色)的视锥感光细胞。每种视锥细胞的大小各不相同。乍一眼看上去,细胞分布是混乱的。



### 规律性被揭示

当我们把不同种类的视锥细胞分开观察时,我们发现每种视锥细胞周围好似存在一类“禁区”:只有不同种类的细胞才可以靠近。每种视锥细胞,尽管不是完美地均匀分布,但也在有限条件下尽可能地达到了最均匀。



## 群“材”荟萃

“我越深入地研究它,就越能发现它的原理是多么优雅,它的概念是多么令人叹服。”当亨利·科恩(Henry Cohn)提起“超齐构体”时,他是这么形容的,“而且不单是它的理论,更让我惊讶的是它广泛的应用前景。”

当科学家们苦思冥想,试图把所有线索都串在一起的时候,超齐构体材料的一些惊人特性也随之浮出了水面:它们其实具备着一些晶体所特有的性质,而且还不那么易受结构差异的影响——在这点上,它们的性质更接近玻璃,或是其他一些没有相干性的非晶体。在Optica杂志新发表的一篇文章中,以雷米·卡尔米纳蒂(Rémi Carminati)为首的法国科学家们报道致密的超齐构体材料可以被制作成透明材料,而同样密度的无序布局材料却达不到这一点,这是因为隐藏在微粒相对位置间的神秘规律干扰、抵消了散射光。“这些干扰因素破坏了光的散射,”卡尔米纳蒂解释道,“由于材料是均匀的,光线就直接透了过去。”这种致密、透明的非晶体的材料到底有什么用?回答这个问题可能还为时尚早,“但是它们肯定有应用前景——尤其在光子学这一方面。”

去年秋天,从法国里昂高等师范学校的德尼·巴尔托洛(Denis Bartolo)为首的物理学家们在《物理评论快报》上发表了他们的研究成果,他们发现乳浊液的超齐构体是可以被特定振幅的晃动所诱发的,这一振幅标志着材料从可逆到不可逆性的临界转变;当体系以低于临界振幅的幅度晃动时,分散在乳浊液体系中的微粒在每次晃动停止之后还可以

回到它们之前的相对位置;而当体系以高于临界振幅的幅度晃动时,微粒的运动就是不可逆的了。

巴尔托洛关于乳浊液超齐构体体系的研究成果已经应用到了实践中,成为混合水泥、美容面霜、玻璃,甚至食物的简易秘方。“无论何时,如果你想将小分子颗粒混入一团浆糊之中,你永远得面对恼人的搅拌问题,”他说道,“而研究超齐构体时找出的规律可能就能给我们带来一种均匀分散固体小分子的新方法。你只要先找到该材料的特征振幅,然后用该振幅震荡若干次,就能得到一个均匀混合的超齐构体分散体系了。”

托尔夸托和他们的合作者组建了一家名为Etapase的创业公司,生产超齐构体光子回路——一种以光而不是电子为介质来传输信息的设备。几年前,普林斯顿的科学家发现超齐构体材料存在“带隙”,可以在传播过程中屏蔽特定的频率。带隙使得数据的控制传输成为可能,因为被屏蔽的频率可以用波导管来容纳并引导。带隙曾经一度被认为是晶体材料所特有的性质,传输方向取决于晶体材料的对称轴,这意味着光子波导只能沿着特定的方向传播,制约了该材料作为电路的应用前景。不过,由于超齐构体材料没有传输方向的限制,带隙在这里可能更为实用,帮助我们造出能满足任何需求的强力波导。

稿件来源:《环球科学》(《科学美国人》中文版)

撰文:Natalie Wolchover

翻译:叶宜伽

## 释疑

### 鸟类“多视锥超齐构体”是如何形成的

超齐构体系统主要分为两类。第一类是在系统达到平衡状态时呈现出的超齐构体分布,准晶体(一类内部原子不遵守重复规律排布,却能完全填满空间的神奇固体)就是其中之一。在这一类平衡系统之中,微粒间的相互斥力使不同成分间保持距离,从而维持超齐构体状态。

第二类超齐构体属于非平衡系统,组成系统的微粒之间相互碰撞,但彼此之间不存在相互斥力,必须要有外力施加于这些系统才能使系统维持超齐构体的状态。玻璃弹珠、乳浊液、胶质及冷原子系综都属于上述类型。

至于鸟类眼睛中,被科学家们称为“多视锥超齐构体”的五彩分布模式,至少迄今为止,是大自然独一无二存在的。科尔博教授仍然不能明确指出这种图案是如何形成的。它

是像第一类平衡系统那样,是由于不同视锥细胞的分子互斥而出现的,还是像一盒被摇晃出来的玻璃弹珠?科尔博认为事情的真相可能更偏向前者,细胞可以在不影响其它异种细胞的情况下分泌一种排斥同种细胞的小分子,很有可能在胚胎发育阶段,每种视锥细胞的分化信号在促使特定细胞分化的同时,也会抑制周围细胞发生一样的变化。“但这只是一个有待完善的简单模型,”他说,“每个细胞的局部活动都会事关整体。”除了鸡之外(鸡是实验室最容易获得的禽类动物),科尔博在其它三种鸟类身上也发现了同样的“多视锥超齐构体”现象。这种现象表明,“超齐构体”方向的适应性进化是普遍存在的,并不仅仅只是某种特定环境下的产物。

## ■ 趣图



### “好奇号”拍摄 火星高原 酷似地球沙漠

近日,一张火星表面的全景图体现出其表面存在棕色和赤褐色的高原和孤峰。当天正值这辆火星车着陆火星盖尔陨坑4周年纪念日。从画面中可以看到火星车周围荒芜的沙漠一般的景象,其中满是遭受侵蚀的平顶山和孤丘,给人的印象和地球上的一些荒漠地区惊人的相似。

整个拍摄区域是一片被称为“默里构造”的岩层的一部分,它是一个古老的沉积地层。这块区域是以行星学家布鲁斯·默里命名的,他是NASA喷气推进实验室(JPL)的前任主管,在2013年离世,“好奇号”火星车是由JPL负责的项目。美国宇航局表示,图像中位于“好奇号”机械臂左侧的暗色平顶山高度大约15米,距离火星车大约有90米的距离。

“好奇号”最初的主要目的是为了研究火星表面,并探寻是否存在曾经适宜生命生存的迹象。而在后续的任务延长期间,“好奇号”开始逐渐攀登夏普山并沿途对年轻的出露地层开展研究。其主要目标是想要弄清楚火星表面的淡水湖泊环境是如何逐渐演变成今日火星上所见的严酷荒芜世界的。



### 未来派公寓楼 智能阳台 可停放无人机

据悉,“无人机塔”设计的每间公寓都有一个无人机降落平台,智能设备平台可以探测到逐渐接近的无人机,并提供空间使无人机安全着陆。

无人机着陆平台的护轮轨可以设计成下滑或者滚动滑动。此外,还有大量的安全装置,这里将有一个空中交通系统解决城市空中飞行控制。

无人机和小型电动飞行器可以使用较大的阳台作为着陆地点,递送货物或者接送乘客。

无人机塔看上去颇似具有较大阳台的未来派公寓塔,小型电动飞行器或者无人机可以着陆在公寓阳台,许多人可能不会独立购买无人机,而是通过APP软件呼叫无人机服务,就像出租车服务一样。



### 寄生蜂 为繁殖后代 编织“蛛丝茧”

芬兰的一种寄生蜂将卵产在跳蛛的体内。它们会用毒液使蜘蛛麻痹,然后用尾部的针状器官将蛛丝编成一个茧,把蜘蛛包在里面。

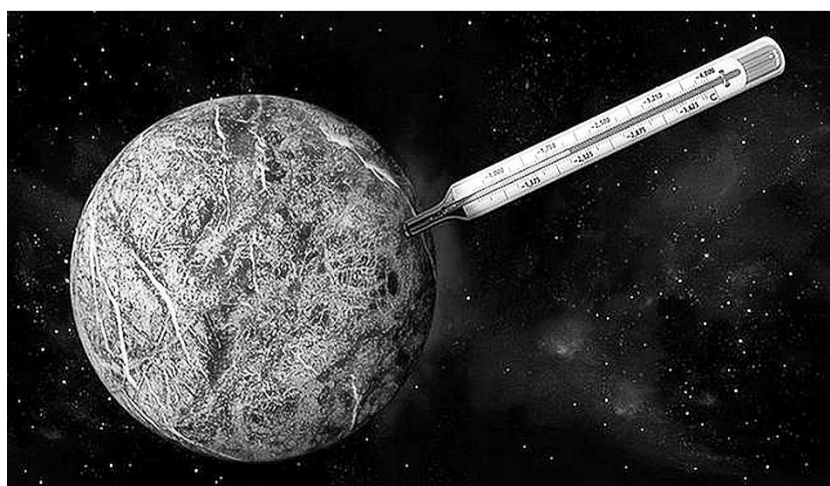
在芬兰图尔库大学研究者拍摄的视频中,可以看到寄生蜂编织时就像缝线机一样快速、灵活。相关的研究结果发表在《生物学通讯》杂志上。

在此之前,这种寄生蜂还没有被研究过。科学家采集了一些活体标本,然后对它们这种奇特的行为进行了拍摄。研究者称,这种行为可能是寄生蜂保护自己后代的方式,其雌蜂产卵器的尖端如同缝线机一样。

在视频中,寄生蜂在一只几乎完全被包裹在自己蛛丝里的蜘蛛周围不停忙碌,编成了一个“蛛丝茧”。它们首先会将产卵器刺入蜘蛛体内,然后注入毒液使其麻痹,接着拖到理想的产卵地点。产卵完成之后,这种寄生蜂会用蛛丝编成一个茧,把蜘蛛和卵都包裹起来。

研究者说:“上下翻动的针状器就像一台缝线机一样。蛛丝做成的跳蛛茧非常软,很蓬松,因为它由平行的蛛丝层组成的,充满了空气。”这种茧可能为寄生蜂后代的发育提供了稳定的环境,并且能避免幼虫在孵化之后离开宿主。

# 必须具备适当内部温度行星才能宜居?



科学家最新研究显示,系外行星的生命宜居条件除了与恒星保持适当距离,表面存在液态水,行星内部还应当处于适当温度。

据英国每日邮报报道,数十年来,科学家认为发现外星生命的最重要信息是这颗行星距离主恒星多远,在太阳系,金星距离太阳最近,火星距离太阳较远,无法存在液态水,但是地球处于合适位置,存在着液态水和各种生命形式。然而,目前最新一项研究表明,仅凭距离很难断定该行星是否宜居生命,宜居行星还必须具备适当的内部温度。

之前天文学家认为行星能够调控自己的内部温度,通过一种叫做地幔对流的过程来实现,这是由于内部加热和冷却导致的。如果情况是这样的,一颗恒星起初内部温度不能太冷或者太热,如果它与主恒星保持适当距离,将最终处于一个适宜的温度条件。

美国耶鲁大学研究人员将这项最新研究报告发表在近期出版的《科学进展》杂志上,该研究报告指出,宜居地带并不足以支持生命存在,宜居行星还必须最初具备适当的内部温度。研究报告作者、耶鲁大学地质学和地球物理学朱·科

雷纳加(Jun Korenaga)教授说:“如果汇总有关地球在过去几十亿年里如何进化的各种科学数据,并试着整理分析,你将最终意识到地幔对流的重要性远不及内部温度。”

科雷纳加教授发现除了地幔对流的行星自调控程度,并认为行星自调控不同于类地行星。这将缩小可能宜居生命形式的行星数量,他指出,缺少自调控机制将对行星宜居性影响很大。通过研究行星形成过程,我们发现类似地球的行星可能遭受多重巨大碰撞,同时,这种高度随机性过程产生的结果具有较大的差异性。

当类地行星首次形成时,其内部温度具有较大的差异性,这对于行星进化而言并不是一个问题,尤其是该行星能够调控自己的温度。对于地球而言,我们理所当然地认为地球存在海洋和大陆,但是如果地球内部温度未处于一定范围,海洋和大陆将不会存在,这意味着地球最初形成时不会太热,或者太冷。(悠悠/编译)