

开卷

责编乐建中 照排章译文
2017年9月25日 星期一

花叶序中有趣的数理知识

□陈爱红 文/摄



曹则贤，中国科学院物理研究所研究员，《物理》杂志专栏撰稿人。曾入选中科院“百人计划”，担任过科技部“973”项目首席科学家。编、译、著有《物理学咬文嚼字》《至美无相》《一念非凡》和《量子力学（少年版）》等。

各种植物结构单元如花、叶、鳞片、种子、花萼等，都会表现出一定的有序结构，研究各种植物结构单元的排列花样及其背后的科学道理的学科就是叶序学，叶序学里蕴含着有趣的数理知识。多年来，中国科学院物理研究所研究员曹则贤教授一直通过实验和分析验证植物生长背后有趣的数理现象。9月16日下午，曹则贤教授做客宁波市图书馆天一讲堂，用深入浅出的语言与大家分享了他的研究成果。

花叶序的研究由来已久

从事科学研究的人，尤其是数学家和物理学家，在遇到新奇美妙的图案时，都不免想到要从这些图案中抽象出一定的共性，并应用数学语言来展示其形状、用物理语言来揭示其成因。植物的花叶序可能受基因、生长素水平上的某个因素的影响，但数学家和物理学家关注的花叶序不是某个生命单元上的生长细节，而是众多生命单元集体表现出的花样。

曹教授关注花叶序数理问题也是从前人研究的基础上开始的，理论科学界在上个世纪初就开始了这方面的探索。早在1904年，英国力学家丘吉尔就把花叶序问题同力学定律联系起来。1941年，英国科学家汤普逊在他的开创性的文献《生长与形态》中指出：植物的形态问题首先是数学问题，其生长问题本质上是物理问题。这为对植物的生长与形态发育问题从数学和物理角度的研究奠定了思想基础。1977年，英国生物学家米奇森更明确指出植物的花叶序花样可能对应于生长基体（花头、花盘、茎等）上由生长引起的、满足最小弹性能的应力分布。

基于上述的思想基础，世界上许多科学家试图通过计算或实验验证这个关于叶序学的最小弹性能构型原理。1992年，法国物理学家杜阿迪利用磁性液滴首次在实验室里模拟了菲波纳契螺旋图案的发生，并试图将研究成果引入叶序学的研究。菲波纳契螺旋结构花样是个抽象的学术概念，我国北方的宝塔菜的结构花样就是菲波纳契螺旋花样，菲波纳契螺旋的特点是从顺时针和逆时针两个不同的方向来看都是螺旋状的。杜阿迪试图将研究成果引入叶序学的研究，但这个实验的实际进程要人为操控。实验虽然提供了一些启发性的结果，却离实际的生命体系太远，所以在引起一阵热烈的讨论后，关于叶序学的数学物理方面的研究又归沉寂。

花叶序中有趣的数学发现

人们看事物的深度取决于人们自身的知识储备。在日常生活中，大多数人都吃过菠萝，这种再平常不过的水果，在数学家的眼里有常人发现不了的美。菠萝表面上一个个凹凸不平的刺点（类似的还有松果上的鳞片、雏菊的花瓣、仙人掌上的小刺等），它们的分布不是随意的，它们也是一个菲波纳契螺旋。这些刺点的分布顺时针方向看是螺旋状的，逆时针方向看也是螺旋状的，但是两边的螺旋数（刺点）是不一样的。数学家发现，菠萝的顺时针螺旋数和逆时针螺旋数存在一个规律，可以用数学语言来概括，这个数学语言就是一组数列：1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21……这组数列的规律是每一个数是前两个数的和，而菠萝上顺时针螺旋数和逆时针螺旋数总是这个数列中相邻的两个数字。这个数列是意大利数学家菲波纳契（1170——1250）研究兔子的繁殖时发现的，他生前并没有想到自然界中的花叶序也能与这个数列如此巧合。

在数学家和物理学家的眼里，莲蓬也是一种非常有趣的果实。虽然画家画莲蓬并不在意莲蓬的结构花样和莲蓬颗粒数的关系，但是在大自然中，莲蓬的结构花样可不是随便生长的。孩子们喜欢玩硬币的游戏，如果有足够多的一元硬币，在平面上用一定数量的硬币（大圆圈）围住一个硬币（小圆），遵循一个大圆圈半径最小的原则来排列这些硬币，随着硬币数量的增加，可围出来唯一对应的图形来。自然界中长着不同颗粒数的莲蓬的结构花样就与对应个数硬币的花样类似。这是两位捷克的物理学家观察并总结出来的，他们以论文的方式与人们分享了这个有趣的发现。

植物茎干上的叶子排列一般地可分为互生（相邻的单叶夹角为180度）、对生（每一节点上两片叶子相对而生）、十字对生（相邻的两个节点上的对生叶子呈十字交叉）、轮生（每一节点上有夹角相等的多个叶子，相邻两个结上的叶子错开，但次邻的两个结上则完全重复）等，科学家们发现最神奇的叶序是螺旋生长的，运用数学研究的方法他们计算出了相邻的两个单叶的夹角为222.5度或137.5度，这个角被称为黄金角。因为还有一个无理数因子影响了排列，这使得再多的叶子在垂直方向上也不会有两片完全重叠，而典型的螺旋生长叶序有向日葵和玉米的叶子等。

花叶序中蕴含的物理知识

2004年，曹教授和浙江理工大学的李超荣教授一起从事微纳米结构应力驱动自组装的实验研究时，在微米大小的、近似球形的以银原子为内核、二氧化硅分子为外壳的球体（可用鸡蛋来形象地类比这种球体）表面观察到了应力分布的三角铺排结构。球面上的三角铺排结构同平面上的三角形格子结构一样，是一种具有普适性的结构花样，蒲公英的小花就是这种结构。在后续的实验中，两位教授利用应力驱动在纯无机材料（即银核和二氧化硅壳球体）的实验体系下，依照简单的自组装程序，再现了菲波纳契螺旋状花样，他们把研究成果以论文形式投寄到美国的《科学》杂志后被迅速发表，英国的《自然》杂志也作了报道。这个简单的实验充分验证了植物叶序作为生长引起的应力，服从于最小弹性能构型原理，在植物学研究领域引起了很大的反响。

什么是花叶序的应力最小弹性能构型原理？通俗地说，就是在平面或球面上，植物的一片花瓣或叶子的生长，都会对紧邻在它周围的其它花瓣或叶子产生挤压的力，花瓣或叶子间的力相互影响，在生长时，每一片花瓣努力使得自己产生的力对其它花瓣影响最小达到相对的平衡。

曹教授和他的合作者利用无机材料的内核/壳层结构获得了三角铺排花样和多组菲波纳契斜列螺旋花样，这个结果为叶序学的力学原理提供了令人信服的证据。

天一讲堂 宁波市图书馆

记者推荐

曹则贤教授的两本书



《一念非凡：科学巨擘是怎样炼成的》

此书从2016年5月首次出版以来，已经再版了三次，是2017年全国优秀科普作品，还进入首届京东文学奖终评。书中不仅介绍了25位伟大的科学家取得伟大成就时的某个非凡一念，还讲述了一个中学老师、一个工厂学徒和一个农民是如何凭借非凡一念影响了科学进展的；最后一篇特别谈了平凡人享受学习和参与科学创造的乐趣。



《量子力学（少年版）》

2017年7月出版。量子力学与相对论并称近代物理学的两大支柱。量子力学在20世纪是天才头脑中的智力风暴，在21世纪则必然要化为常识。该书循着量子力学发展的历史脉络，用关键的人物、物理事件与数学思想构筑量子力学的知识体系，引导读者在愉悦的体验中不知不觉走进量子力学的世界。