

协同学——物理学、化学和生物学中的自组织过程

H. Haken

一、生物结构与物理学基本定律 相矛盾吗？

我们生活的世界是由千变万化的结构（例如：房屋、汽车、绘画）组成的，这些结构是由人类设计和创造的，但是另外还有许许多多结构，它们与人类的创造毫无关系。当我们用望远镜对着茫茫无际的宇宙观察时，我们发现了旋涡星云及其成螺旋臂形式的精巧结构。在我们日常的尺度范围内，也存在着象具有均匀六角形结构的雪花结晶这种由大自然创造的十分确定的结构。生物界一次又一次以它的丰富多样性，甚至以它形式的奇特性使我们惊异。我们举一只热带苍蝇的复眼为例，这只复眼保证使这只小昆虫能飞快地环视四周，同时我们还注意到其精细结构是六边形的。

假如有人在大约二十年前问一个物理学家，他能否至少从原理上解释一下为什么形成这样的结构，他一定会合情合理地回答说：不能。值得注意的是，因为所有这些结构都是由物质构成的，所以应该服从物理学定律。然而现在出现了一个我们在日常生活中已经发觉的矛盾，就是说，我们经常观察到有序的状态被破坏，而不是结构的形成。为了更清楚地说明这一点，我们请您注意一些十分简单的经验事实。如果我们把一个冷的物体和一个热的物体放在一起，就会产生热交换，最后达到热平衡。相反的过程——一个物体自动分成冷的和热的两部分——却从来没有在自然界中观察到过。在下一个例子中我们遇到了同样的情况。假定我们把一个装有气体原子的容器和一个空容器放到一起，并抽掉隔板，气体自然会均匀地充满整个空间。相反的过程——气体原子自动聚集到一

个容器中去——在自然界中也从来没有观察到过。这些过程只能朝一个方向进行，而不能反过来，它们是不可逆的。

在上个世纪，克劳修斯引进了熵这个相当抽象的概念，从而成功地统一描述了这些过程。按照克劳修斯的理论，在一个孤立系统（即“封闭系统”）中熵总是趋向一个极大值。后来，天才的奥地利物理学家玻耳兹曼建立了微观的有序（更准确地说，微观的无序）和熵之间的关系，这个关系由著名的公式

$$S = k \ln W$$

来表达。这是本文中出现的唯一公式，以后我们就不再谈到它了。但是为了得出我们的结论，目前我们还要谈一谈这个公式。熵“ S ”等于玻耳兹曼常数 k 乘以 W 的自然对数， W 是能够实现的状态可能性的数目即配容数。我们举一个例子来简单地说明这个问题。我们考虑在一个盒子中的四个气体分子，显然，只有四个气体分子都处于这个盒子中的一种可能性。可是，对于四个分子平均分布在两个盒子中的情况，我们立即能数出来，总共存在六种可能性。玻耳兹曼定理正是说明了这样一点：自然界总是趋向于状态可能性的最大数量，即力求达到这个状态。如同在这个简单的例子中所看到的那样，这个状态的特点是尽可能地无序，即尽可能地无结构。在上一世纪出现了两个伟人——玻耳兹曼和达尔文，他们提出了对世界的两种完全不同的见解。一方面，达尔文的进化论预言了越来越高级和越来越复杂的物种，也就是越来越高度发展的生物会不断地形成；另一方面，玻耳兹曼认为世界应该趋向于一个越来越无序的状态，并且正如人们在上一世纪议论的那样，最终达到“热寂”。我们如何能使这两种截然相反的见解协调一致呢？我们怎能在物理学定律

的范围内理解结构的形成呢？我们又怎样建立一座从物理学通向关于生物界的达尔文主义的桥梁呢？

二、协同学的目的

现在我们来阐述协同学的问题，“协同学”这个词来源于希腊文，它的含意是“协调作用的学说”。我们广泛地进行科学研究的许多系统是由许许多多单个的子系统和小单元组成。我们想要阐明，这些小单元是怎样会协同作用并常常形成一个有序的整体，这个整体常常显得是有规则的和自组织的，以后我们还要回到这个概念上来。在很多情况下，譬如在生物界中，协作这个概念变得含意非常丰富。我们还可以说，这个整体比各个单元的总和含意更丰富。现在我们要以协同学的方式提出如下问题：是否存在一些普遍原理在支配着这些小单元的协同作用。关于这些小单元，我们想到了原子、分子、光量子，但是我们还应想到细胞、动物，乃至人群。当我们陷入这样一个包罗万象的问题——是否存在普遍的原理，在支配着如此千差万别的单元的协同作用，这时人们可能会说，这是一个痴心妄想、胡说八道的问题。原子的行为和人群的行为怎么会有共同之处呢？提出这样一个包罗万象的问题是毫无意义的。

幸好，我们可以对提出的问题加一些限制，我们只限于研究这样的情况，其中系统的行为

是急剧地改变的，一个新的结构是自发形成的。但是，“急剧改变”和“自发形成”是什么意思呢？我们不想作冗长的讨论，而只是用一个生物学的例子来加以解释。图1中给出两种鱼，一种是翻车鱼，另一种是针鲀。著名的苏格兰生物学家 D'Arcy Wentworth Thompson 在本世纪初已经作出一个有趣的结论：在一种鱼上画一个坐标系，再使这个坐标系变形，于是一种鱼就变换成了另一种鱼。但是其结构保持不变，眼睛还是变换成眼睛，鳃还是变换成鳃，鳍还是变换成相应的鳍。因为其结构保持不变，所以人们说这里有一种结构稳定性。而一个数学家可能会说，这两种鱼原本是一个鱼种。然而在协同学的范围内我们不想讨论这种情况，我们宁愿研究这样的问题：是否存在结构改变呢？在一条蝶蛹从胚胎发育为成虫的过程中，从一个阶段过渡到下一个阶段，你总会看到一个新结构的出现，看到一个裂痕、两个裂痕……的出现，直到形成一个发育完全的动物。这个过程说明了结构改变的意思。

然而，从这个最困难的问题——生物学中结构的形成出发来探讨我们的理论并不是很明智的。如果普遍原理确实存在，那么它们必然也体现在简单的现象中。首先我们从非生物界中举出一些例子，这些例子将把我们引向生物界。一个例子是特定云状的形成，这在天空中是很容易观察到的，例如：云街。滑翔机驾驶员都能够告诉您，大气绝不是平静的，它在不停地

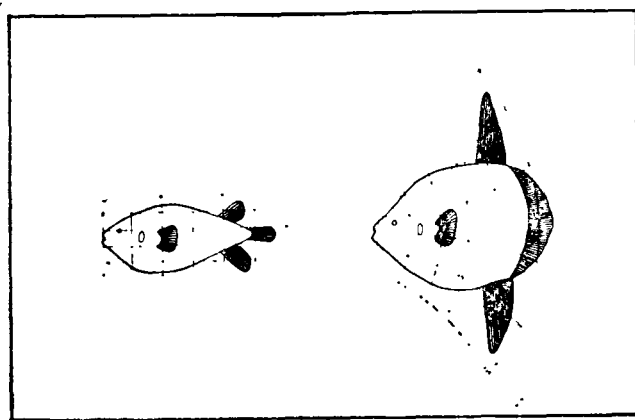


图1 翻车鱼和针鲀可以通过简单的坐标变换而互相变换

运动。在这一个“云街”中空气上升，在下一个“云街”中空气下沉，如此等等，这样便形成了一个动态结构。人们也能在实验室中模拟这种结构的形成，在那里人们同样能发现这种滚筒结构(“街”)，或者发现更复杂的结构。我们在图2中给出一个著名的关于流体的 Benard 不稳定性示例。这里有一个装液体的圆形杯子，从下面加热它，当加热足够强的时候，便形成了如图所示的蜂窝状结构。在每个小蜂窝的中间，液体上升；在边缘上，液体下降并变冷。我们还可以给出一个例子，它或许暗示了结构形成确实是服从某个普遍原理的。一个由金属薄壁构成

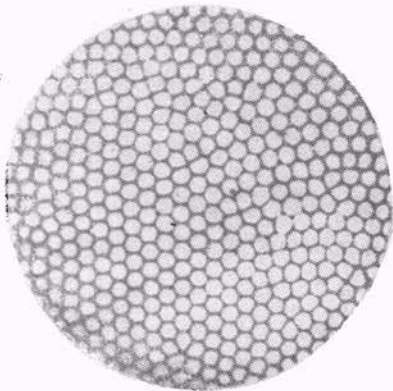


图2 Benard 不稳定性

(在一个圆形杯子中，从下面被加热的液体自动发展出一个蜂窝状结构，它是通过液体不停地向上和向下流动而形成的)

的球体，当球内压力降低时，自发形成了一些六角形花样。到这一步，人们或许仍然认为这是偶然的。但是我试图在本报告的范围内使你确信，这种花样的形成绝不是偶然的，而确实是一个深刻的普遍原理在起作用，导致了这些花样的产生。下面举一个化学方面的例子，这就是著名的 Belousov-Zhabotinski 反应，一种相当复杂的化学反应。我们不想在此讨论它的详细机理，而只是指出下面这个观察到的事实：自发形成的都是螺旋线(图3)，这样的螺旋线向外生长，互相碰撞，最后一起消失。这些螺旋线花样的形成决不只限于这个特定的化学反应，人们在生物界中也发现了它。为了说明这一点，我们举一个生物学的例子——粘液霉菌的生长，这是只有几毫米长的菌。在一般情况下，它

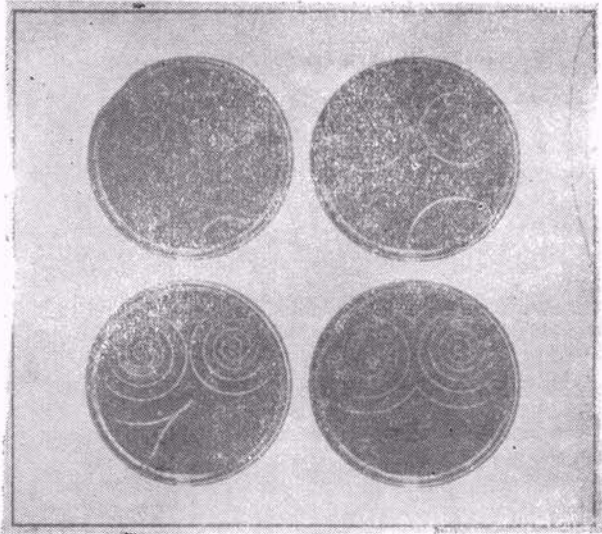


图3 在 Belousov-Zhabotinski 反应中螺旋线的形成
(这些螺旋线向外生长，互相碰撞，然后在边界面上相向消失)

们生活在营养基上，以阿米巴形单细胞的形式出现。但是当营养不足的时候，这些单细胞自发地沿一定的螺旋线轨迹聚集起来，它们越聚越多，并且分化出茎和孢子体，最后形成这种菌。此外，这些菌还能象蛇一样向下弯曲和稍微向前爬行。我们感兴趣的是，这些阿米巴形单细胞怎么会知道它们必须沿一定的轨迹聚集起来呢？生物化学家和生物学家们找到了这个问题的答案。这些细胞的聚合是由一种化学物质，环状一磷酸腺甙(cAMP)引起的。当“食物”稀少的时候，细胞就产生出 cAMP，cAMP 被分泌到基底上，在那儿扩散开，又遇到其他细胞，这些细胞受到刺激又提高了 cAMP 的产量。由于 cAMP 产生的相互影响和扩散而产生了螺旋线。这里我们举出两个完全不同领域的例子：一是化学的无机世界，另一是有机世界，两幅图画出现了相同的花样。这个事实又提出了这样的问题：这种令人惊奇的相似性根源何在？

首先我们以激光器为例来研究这个问题。出于历史的原因，我想简短地讨论一下激光器，因为它确实有助于我们发现这些普遍原理。激光器是一种新式光源，现在我们几乎每天都能在报纸上看到关于激光器的消息。激光器由一

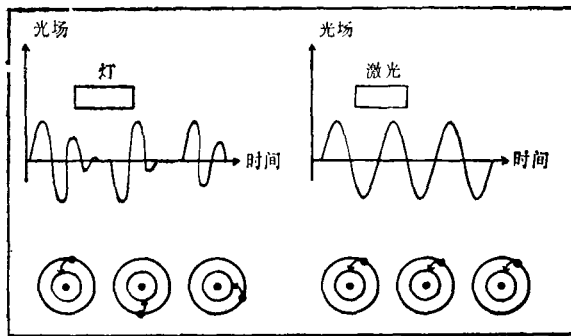


图4 灯光(左边)和激光(右边)之间的区别
[下图形象地描绘电子在它们的圆形轨道上围绕原子核(中间的圆点)运动].

种活性介质构成,比如一块漂亮的红宝石,介质置于两个端面的两块反射镜之间.红宝石晶体的原子从外面由闪光灯来激发,然后整块晶体便开始发光.但是两种发光具有完全不同的特性,普通的灯发出的光和激光是截然不同的(见图4).普通的灯是以下述方式发光的(如图4的下图所示),电子在一个个原子中围绕原子核运动,我们从玻尔的原子模型早就知道了这件事.受激发的电子可能突然跌落到内层轨道,而发射出如图4的上图所示的一个光波.这个光波的产生非常类似于当人们把一块鹅卵石扔进水里时水波的产生.第二个电子也发出相应的光波,就象第二块石头产生第二个水波.所有原子的发光就好比我们把一大堆石头扔到水里去,这时形成了一个杂乱无章地运动的水面.激光作用(图4的右半部)的情况则完全相反.激光是一个极有规律的波,这可以在实验中详细地给以证明.显然,只有当所有的电子相干地,也就是说同时按一定的相位关系跃迁到内层轨道的时候,才产生这种极有规律的波.我们要以稍微不同的方式来解释这一过程,从而说明这个简单的例子可以引导我们逐步地解决自组织这个问题.在图5中,我们用小人来代表一个个原子,用在一条渠道中的水来代表光场.图的上半部表示在普通灯里面发生的过程,小人们互不相关地在水里捣他们手里的木桩,因而产生了杂乱无章地运动的水面.在激

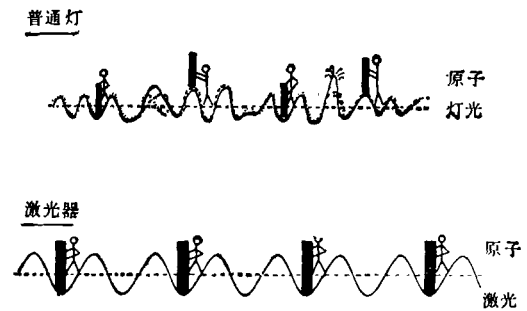


图5 普通灯和激光器之间的区别

光器中发生的过程就完全不同了,代表原子的小人们以一种完全相互关连的方式在水里捣木桩,从而形成一个美妙的极有规律的波.根据日常生活的经验我们知道,为了达到这种状态发生了什么事,在这些小人的后面站着个指挥员,他有节奏地不断喊着口令:“起,落!起,落!起,落!……”这样,这些小人便知道了他们每次必须在什么时候把木桩捣入水中.在激光器里当然没有什么指挥员向激光原子喊口令,显然必定存在某种机制使激光原子自行组织起来,换言之,必定有一个自组织的机制在起作用.

三、自组织的普遍原理

现在我们很自然地面临这样一个问题:怎样深入探讨并最终理解这个自组织过程,这个过程在无生命世界中就已经出现了.我们发现用激光器这个例子来解释这个原理有点困难,所以我想转移到一个简单的系统.首先请你回想一下在中学时学过的几个基本概念.我们把一个小球放在一个碗状容器里,这种平衡是稳定的,即使我们把小球稍微挪开一点,它又会重新回到它的平衡位置.如果我们把碗状容器倒扣过来,就出现了完全不同的情形.起初小球仍处于平衡位置,但是极微小的一点推力就足以使小球越来越远地离开它的初始位置,所以这种平衡是不稳定的.我们将看到,稳定性或者不稳定性的问题在协同学中起根本性的作用.

现在我们来考虑在一个矩形容器中的流体从其下面加热的例子。当我们加热流体时，流体体积元受热膨胀，比重变小，所以向上运动。而上部的流体体积元还是冷的，它们就向下沉。显然，这种情况应看作一个不稳定平衡：下部的流体要向上，上部的流体要向下，所以流体的状态是不稳定的。然而流体的行为是相当有趣的。假如流体粒子是人的话，他们将怎样行动呢？一部分人将杂乱地向上运动，另一部分人杂乱地向下运动，他们可能会乱得一塌糊涂，正如许多人在一个大厅里，一部分人要出去，另一部分人同时要进来，就会发生这种情况。我们从来没有看到过人们会沿着规则的路径走，然而自然界的行却要聪明得多。流体粒子的速度始终存在小的起伏，在这种起伏中，流体不断地尝试着各种各样的流线构型。图6说明了这种特性，我们选取了偶然形成的两种不同的构型，这两种构型的形成在数学上和实验上都可以详细地予以证明。其中的一种运动总是不断地增长；反之，另一种运动一旦产生了以后，就会随着时间的推移逐渐自行平息下去。在图6的右半部中，向右的横坐标表示时间，向上的纵坐标表示在某一固定位置上速度的垂直分量。在第一种构型的情况下，这个速度随着时间的推移总是不断地增加；在第二种构型的情况下，这个速度总是不断地减少。到此为止，我们可以引入协同学的基本观点了。

首先我们考虑流体的初始状态，这时流体是静止不动的。然后我们改变外部条件，也就是说供给热量。这样初始状态就变为不稳定的了，流体要趋向一个新的状态。在许多情况下，这个新状态意味着更高级的有序。现在我们要在协同学的范畴内讨论这样一个问题：这个新的有序状态是怎样建立起来的？正如我们在前面的例子中已经说明的那样，我们分析得出了下述结果。一般说来，存在着某些集体运动形式——我们称之为模式，有些集体运动形式总是不断地增长，另一些则逐渐消亡。那些增长的集体模式迫使系统有序化，我们称它们为“序参量”驯化——这里用了协同学的一个术语——

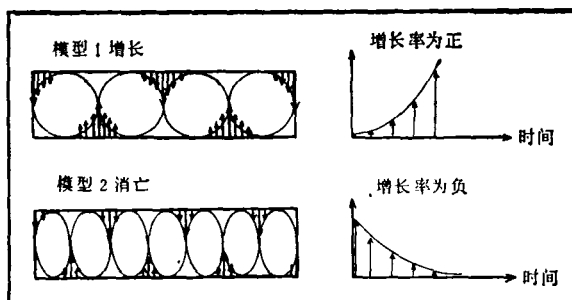


图6 左半部表示流体的两种不同的速度分布；右半部表示第一种情况下速度如何不断地增加和第二种情况下又如何不断地减少

所有其他的子系统（即被抑制趋于消亡的模式）。我们在流体中可以清楚地观察到这一过程。假如这样一个有序状态已经建立起来了，我们在流体中注入一些墨水，墨水就会被卷入到集体运动状态中去，也就是说，墨水也跟随作集体运动。从这个意义上说，墨水被流体的总体运动驯化了。我们还必须强调指出，对“驯化”这个概念不能作任何伦理学的解释，它是一个学术专用语。我们要用另一个完全不同的例子来阐明这个观点。当一个婴儿出生以后，他就受到人们的语言，首先是他的父母的语言的熏陶。用协同学的术语来说，语言就是序参量，婴儿是“被驯化的子系统”。他受到语言的熏陶，他学习这种语言，最后他说这种语言并传播这种语言，也就是说他支持这个特定的有序状态。在以前，我曾经或多或少半开玩笑地讲过这个例子来说明问题，当时在巴黎有一所学校，他们从哲学观点探讨了人们被语言驯化的问题。此外，“模式”（“Mode”）这个词是选得很巧妙的，在德语中，Mode的另一个意思是时髦式样。不但流体的运动方式，而且人们的时髦式样也是一个序参量。在一种时髦式样确立以后，许许多多同时代的人都会被卷入到这个时髦潮流中去，也就是说被这个时髦式样“驯化”。通过这个例子我们要强调指出，这里建立的概念也能用于经济学和社会学中研究的许多过程。但是我们在这里仍然只限于讨论自然科学的问题。

我们还发现，有序状态的建立也能用数学理论的方法来详细地计算。在前面的例子中，

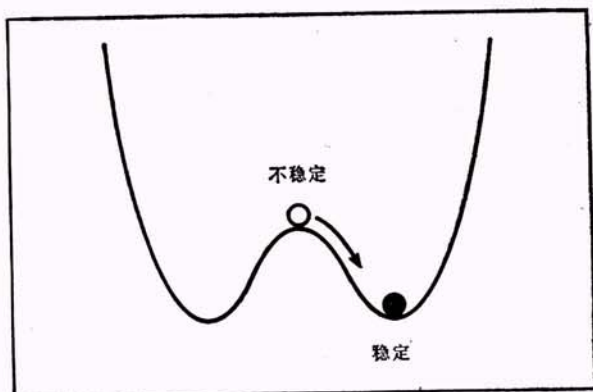


图7 从一个不稳定平衡位置过渡到一个稳定平衡位置的模型

(我们可以把向右的位移看作图6中流体在某一固定位置上的速度。由图可知,速度只能增加到一定的值)

我们提到了滚筒结构这样一种新的稳定状态,如同在云街中可以观察到结构一样。在前面我们还谈到了不稳定性,在这里我们可以用下述方式来形象地描写这种情形(图7)。在图7中我们把流体的垂直速度分量(见图6)画成向右,并用小球的位置来代表它。当 $v=0$ 时,流体是静止的,但是这个位置是不稳定的。一个很小的推动或一个小起伏,足以使小球滚下“势垒”,也就是说,流体的垂直速度分量增加了。因为有内摩擦,所以垂直速度分量不能无限地增加,而是在 $v=v_1$ 的位置上稳定下来。我们可以这样来描写这件事:小球在某个谷中达到稳定的平衡位置。所以我们提出一个从不稳定平衡位置过渡到稳定平衡位置的模型。在此我们看到了一个令人注意的现象,一个很小的推动就足以把小球推向右边,但是同样地也能把小球推向左边。这是从事相变研究的物理学家和化学家熟知的一个现象,在相变时对称性也随之破坏了。因为图中这个“花瓶形”是对称的,所以小球可能向左,同样也可能向右落下,但是小球必须作一个“决定”,比如说向右落下。在流体形成滚筒结构的情况中,上面叙述的意思是:在原则上,流体滚筒可能向右滚动,同样地也可能向左滚动,但是在某种给定的情况下,流体只能实现一个滚动方向。

现在我们的论述要向前跳一大步。我想通

物理

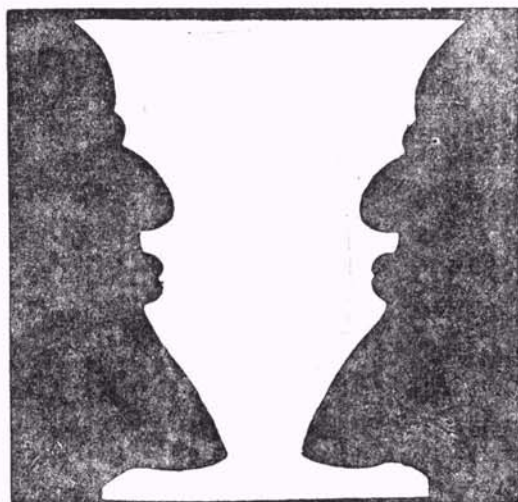


图8 在看这幅画,辨别花瓶和脸这两样东西时视觉对称性的破坏

过你自己的亲身感受来论证,我们已认识的最复杂的系统——人的大脑在视觉作用中也会表现出这种对称性的破坏。在图8中我们给你看一幅画,这幅画象是必须破译一下的密码。如果我说,请你着重注视此画白色的中间部分,你立刻就看出这是一只花瓶。但是,如果我说,请你着重注视两边部分,你必然会看到两张脸。所以我们说,给你一个附加的信息,“对称性就被破坏了”。在某种程度上可以说,我们能规定你将看到什么。在以前,我曾经把这一类不对称性破坏当作笑话讲,但是在此期间我得知,对称性破坏是心理学的一种重要的试验手段。心理学家在对一个人做试验的时候,常常给他看一幅画,比如说一个少女或一个老妇。如果人们仔细地、没有任何偏见地观看这幅画,人们就会发现这两张脸或多或少是毫无表情的。但是心理学家知道,每个人内心里都烙有特殊的烙印,每个人都有特定的性格。所以每个接受试验的人都必然把自己的先入为主的偏见掺入到这幅画中去。例如,有人说这个妇女显得有点忧郁,有人说这是一个多疑的妇女,如此等等。这样他就背弃了不偏不倚的态度,也就是说破坏了“对称性”。这是对称性破坏应用于心理学试验的一个例子。

四、示 例

到此为止,人们当然可能说,所有这些都只是定性的解释,我们能不能作一点定量的研究呢?我们是否真的能把这些结构计算出来呢?为了回答这个问题,我们还要再举几个例子.图9是对一个等离子体计算出来的图形.大家知道,等离子体是一团电离的气体.在我们这个例子中,等离子体从下面被加热,并处于一个垂直方向的磁场中.我们用在协同学的范围内发展起来的方法计算了等离子体中的运动过程,得到了这张图,图中的曲线为垂直速度分量等值线,在同一条曲线上,等离子体具有相等的垂直速度分量.

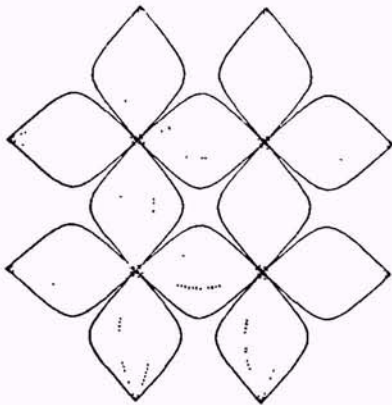


图9 一个等离子体的速度场示例,该等离子体从下面被加热,并处于一个垂直方向的恒定磁场中.图中画的是垂直速度分量相等的等值线

我们还把这种方法应用到生物学中.图10表示生物学中的一个实验,实验的对象是水螅——一种生活在淡水中的几毫米大小的珊瑚类动物,水螅有一个头和一个足.对生物学特别感兴趣的一个问题是:在这种小动物生长的过程中,单个细胞是怎样知道它以后应该变成一个头还是变成一个足呢?它是怎样从原始的卵细胞发育生长起来的呢?对此有两种见解.第一种见解认为,每个细胞从基因,从遗传因子那里得到信息:“你以后要变成一个头”,或者“你以后要变成一个足”.另一种见解是,细胞一

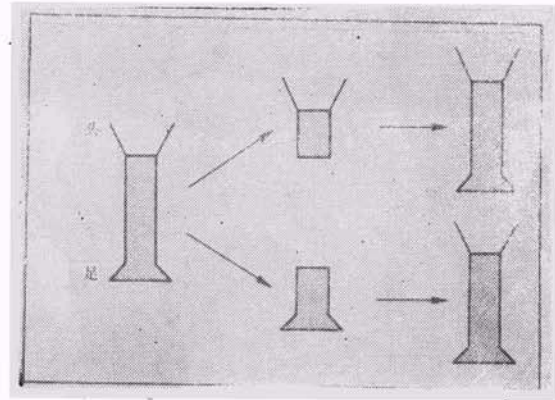


图10 用水螅做的一个实验简图

开始完全不知道以后将变成什么,而是以后在细胞分裂的过程中才获得信息.为了在这两种观点之间作出判断,人们做了下列实验:把水螅从中间切断.在切口处的细胞当然是同一类的.结果是很有趣的,两个半条水螅都能再生,头的那一部分长出一个新足,足的那一部分长出一个新头.很显然,头和足都是从原先“腹部”的同一类细胞生长出来的,这些细胞完全不可能知道它们以后应该变成什么,起初它们都是“腹部”细胞,但是后来它们能变异为头细胞或者足细胞.显然它们只能从它们所处的位置得知它们应该变成什么,但是它们是如何得知这一点的呢?显然,必定有一个信号从头或者从足传递到腹部,头发出一个信号:“这儿是头,我需要一个足”;类似地,足也发出一个信号:“我是足,我需要一个头”.那么,这是怎样发生的呢?我们必须假定(许多实验也暗示了这一点),这是通过化学信号发生的.化学信号在水螅体内产生,它告诉每一个细胞,“如果你位于这里,你必须变成头;如果你位于那里,你必须变成足.”这个概念是在三十年前首先由英国数学家 Turing 提出的,以后又有许多作者沿这条思路提出了其他的数学模型.我们从中选取一个典型的数学模型,并用协同学的方法研究它.我们给出一个例子,这个例子表明,我们也能用协同学的方法来计算相当复杂的结构.如图11所示,这里我们研究在 X, Y 坐标系中的一个二维细胞排列,垂直向上的轴是刺激细胞变异的某种化学物质的浓度.我们加一个很小

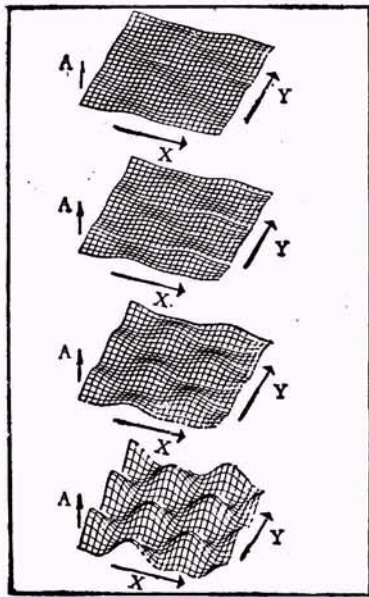


图 11 在一个二维的细胞排列上形成花样的模拟计算。向上表示激活剂分子的浓度 A ，向右和向里是细胞排列的坐标。四张图按从上到下的顺序表示浓度花样的形成

的起伏作为微扰，这个排列就会演变成一个结构，这可以在图中清楚地看到。在图中，“峰”的位置表示激活物质的浓度高，“谷”的位置表示浓度低。按照这个模型，在浓度高的地方细胞的遗传基因就被激活了，因而能形成完全确定的结构。如果我们更仔细地观察，就能辨认出一种六角形结构。所以我们这个例子已经提供了一个模型，它可以解释，比如说，生物界中复眼小眼面的形成。

五、混沌和有序

至今我们只谈了有序过程，在世界上当然不但有有序，而且还有大量的无序或混沌。我

们也能用数学的、物理的和化学的模型详尽地、巧妙地研究从有序过渡到混沌的过程。图 12 可以说明下述实验：考虑处于两个同轴圆柱之间的流体，当内圆柱旋转起来的时候，流体也跟着转起来并形成“滚筒”（图 12 左边）。这些流体滚筒似乎可以说象一些围绕着内圆柱的小圆棍。现在，我们加快内圆柱的转速，于是逐渐形成振荡，小圆棍开始来回振荡。当速度继续增加时，小圆棍振荡得更快，最终出现了完全无规则的运动。人们称这种状态为湍流，或者用最新的术语：混沌。我们用眼睛已经千真万确地看到，流体运动是完全没有规律的，是完全混沌的。假如我们在某一固定的位置上不断地测量流体速度，并对时间作图，我们将得到一条完全没有规律的曲线。人们用“混沌”这个术语来描述这种运动。在上述例子中，这一过渡是能够详细地计算的。

在过去一年中，人们在许多情况下取得了成功，至少能定性地阐明这种混沌运动的基本原理。我们可以用一个很简单的力学模型来解释相应的运动方程。让一颗小钢珠落到一片直立的刮胡子刀片上，由于钢珠可能稍微偏左一点或是稍微偏右一点，因此会出现极其不同的运动轨迹。假定有一台机器一次又一次不停地把钢珠从下面铲到上面，你可以想象，这时将发生一种完全没有规律的运动：左/右，左/左，……。尽管这个运动服从力学方程，是完全决定论的，但仍然出现了一个完全无规的运动。

现在我们要指出，“什么是混沌？”和“什么是有序？”这个问题是一个很困难的、深奥的问题。在图 13 中给出两条曲线，我们很容易想象向右是时间轴，向上是某个量的振幅。我们看到图 13 (a) 表示一种完全无规律的运动，我们

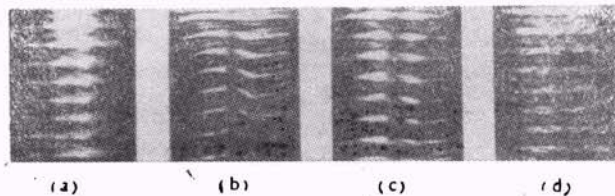


图 12 一个流体运动花样发展的各个阶段。该流体处于两个同轴圆柱之间，内圆柱在旋转

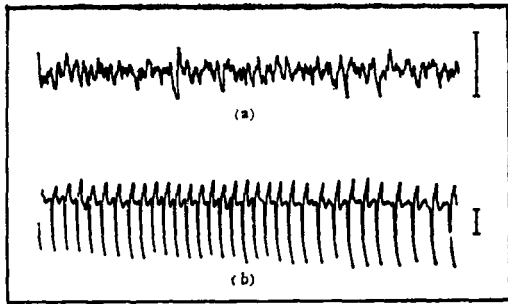


图 13 EEG 的例子
(a) 大脑功能正常;
(b) 在癫痫病发作时

或许会说,这大概是一个流体的速度场吧,这是混沌。反之,图 13 (b) 显示出一种有序的运动,完全有规律,具有严格的周期性。我们说,图 13(b) 的运动比图 13(a) 的运动有序得多。现在我要告诉你,图 13(a) 是一个正常人的脑电图 (EEG),即在正常思维活动时记录下来的脑电流。专家们说,一个人越聪明,思维越是敏捷,他的 EEG 就显得越是没有规律,越是混沌。反之,图 13(b) 是一个癫痫病人发作时的 EEG。在一定程度上正是这种严格的有序驱使一个癫痫病人进入抽搐状态,这时所有神经细胞的活动都同步一致了,通过这种方式建立了一个虽然完全有序,但是毫无意义的状态。通过这个例子我们看出,关于有序和混沌的问题是很深奥的,因为毫无疑问,在世界上存在大量的混沌现象,所以我们有时候可能要问,是不是至少有些混沌现象的确满足某些最基本的定律呢?

协同学也促进了大脑研究工作。图 14 取自 Jack Cowan 的一篇文章。他早就研究了这样一个问题:视网膜上产生的图象是怎样反映到大脑的一部分即大脑皮层上去的。他发现了一种特殊的成象功能,视觉神经把圆形的视网膜成象在大脑的一个方形区域上。因此提出下列问题是十分有意思的。当人们服用麻醉毒品时,会产生幻觉,并“看到”一些图形,比如说,同心圆、向外的放射线或多臂的螺旋线。如果我们把从视网膜通过神经传递到大脑皮层上的这种成象功能应用于这些图形,我们便得到一些令人惊讶的结果。人们在幻觉中“看到”的这些

图形相应于大脑皮层中的一些条形花样,只不过这些条形花样的取向不同而已。假定麻醉毒品使神经细胞或神经节变得不稳定,那么正如我们在许多协同学系统中观察到的那样,一个简单的花样建立起来了,而条形花样正是这样一种基本花样。我们承认,这至今仍然只是一个假说,但是今天我们已经有可能做这样的实验:用许许多多电极同时记录神经细胞的活动,于是协同学可以帮助研究大脑,也就是说可以验证在大脑中形成的这些花样。此外,有些 EEG 已经指出,在癫痫病发作时在大脑中也可能存在移动的螺旋形波,这和前面讨论的在化学反应中出现的情况是一样的(见图 3)。

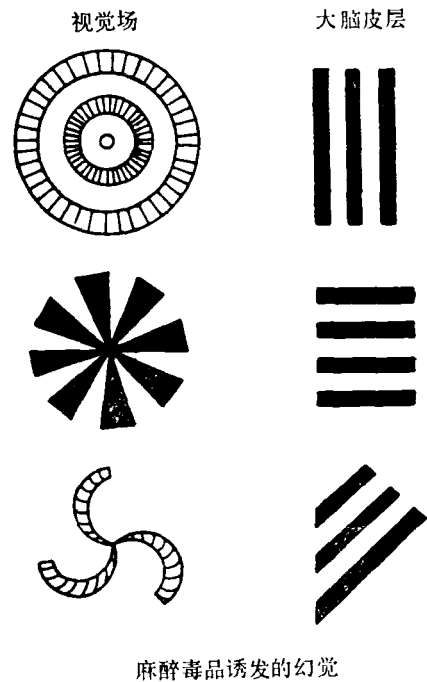


图 14 在幻觉中的视觉花样(左边)和在大脑皮层中假设的原型(右边)

现在我想结束关于自然科学部分的讨论,作为这一部分的概括,我还要说明一下,最重要的原理是什么,协同学与热力学(包括玻耳兹曼理论)的区别何在?热力学是一种静态理论,正如前面已经说明的那样,它的理论基础是:使可能实现的配容数达到最大。这个数的对数乘一个常数便是熵,在封闭系统中,熵总是趋于它的极大值。如果我们忽略某些没有在这里讨论

的附加条件,这个极大值便反映出一种完全没有什么结构的状态,所以这是一个静态的原理。反之,协同学是以完全不同的原理为基础的,在前面关于从下面加热的流体的例子中已经说明了这个原理。在这个例子中增长率起了主要作用。我们已经看到,存在一定的集体运动方式,例如,流体的滚筒运动,它们总是不断地增长,最后支配了整个系统。另一方面,存在着别的运动模式,它们增长得比较慢,或者甚至是衰减的,这些模式在竞争中失败了,最终被增长率最大的模式“驯化”掉。由此我们可以建立起一座从无生命世界通向生物界的桥梁。正是这种刚才描述的集体运动方式为占据优势而进行的竞争使我们想起了达尔文的“适者生存”的理论。但是,与达尔文的理论相反,我们至少能在无生命世界的情况下严格地预言这些将要形成的模式,并从这些模式确定最终的有序状态。

(朱振和摘译自《洪堡基金会会报》)

1984年3月号)

译者的话:协同学是一门新兴的边缘学科,为向读者作个一般的介绍,特翻译此文。这是 Haken 教授在 1983 年洪堡基金会年会上作的专题报告,内容深入浅出,通俗易懂。

Haken 教授是西德斯图加特大学的理论物理学教授,在群论、固体物理、激光物理、非线性光学、统计物理、等离子体物理、化学、形态学等方面均有很深的造诣,发表了大量的著作。他也是协同学的权威。1976 年英国物理学会授予 Haken 教授 Max Born 奖金和 Max Born 奖章。1981 年,他获得美国富兰克林学会的 Albert-A-Michelson 奖章。1982 年西德 Essen 大学授予他荣誉博士称号,他是唯一的获得这一荣誉的科学家。

第三届全国磁学讨论会在成都召开

近年来,磁学理论的研究日益受到学术界的重视。为了活跃磁学理论研究的学术空气,交流国内外磁学理论研究的情况,推动我国磁学理论研究的发展,1985 年 3 月 15 日至 30 日在成都四川师范学院召开了第三届全国磁学讨论会。来自全国五十多个研究所、大专院校的六十多名代表出席了会议。这次会议以专题报告为主。山东大学姜寿亭,四川师范学院赵敏光,中国科学院物理研究所李伯臧、蒲富恪、张寿恭,北京大学刘福绥,复旦大学孙鑫等七位同志分别作了题为《巡游电子磁性》、《顺磁晶体的晶场和顺磁共振理论》、《微磁学理论问题》、《磁性孤子》、《新型永磁材料 $R_2Fe_{14}B$ 的磁性》、《耦合磁性杂质理论》、《低维凝聚态物理》七个

专题报告。这七个专题报告,既讲了基本理论,也介绍了新的进展,大多数报告还介绍了自己的部分工作,提出了一些需要进一步深入的研究课题。这些报告都具有较高的学术水平,涉及到磁学理论各领域。会议中,还有十六位代表以大会报告或书面的形式交流了二十篇学术论文。会议期间,还组织参观了成都电讯工程学院磁学实验室和四川师范学院固体物理研究所。

这次会议的论文集将在 1985 年内正式出版。会议商定第四届全国磁学理论讨论会于 1987 年在苏州或西安召开。

(杜懋陆)

下期内容预告

尼耳斯·玻尔的功绩与他的爱国主义——纪念尼耳斯·玻尔诞生一百周年(杨福家);有关尼耳斯·玻尔的文献概况(弋革);有机超导体(朱道本);铁电体中的反常光生伏打效应——固体中一种新的电荷输运机构(王以铭等);谈谈球状闪电(毛节奏);磁场镇痛效应及其应用(姜明连等);快中子治癌(林怀冰);生产上需要三点插值参数估计法(李宁);电解液电反射谱技术及其应用(薛大中等);液体克尔常数的测量(凌德洪等);托克马克微波干涉信号的实时处理(郑少白等);低气压火花隙去耦式短路开关(李银安等);用恒定光电导分析非晶硅薄膜的次带吸收(韩大星等);MOS 物理基础(史常忻);光电子与俄歇电子在 X 射线光刻中的影响(顾柏春);三位著名的华裔物理学家(S. P. Parker);向读者推荐一本好书——《玻尔研究所的早年岁月(1921—1930 年)》(本刊编辑部)。