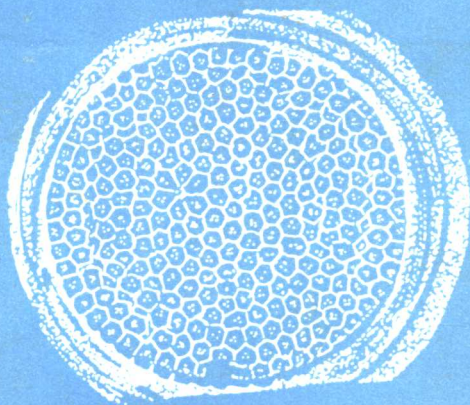


中学生课外读物



有序与无序的奥秘

李如生 著



-49

人民教育出版社

中学生课外读物
现代科学技术丛书

有序与无序的奥秘

李如生 著

人民教育出版社

内 容 简 介

《现代科学技术丛书》是为中学生编写的现代科学技术通俗读物，本书是这个丛书的一种。

探索自然界中有序与无序的奥秘是一个新的学科领域，它的研究对于物理学、化学和生物学的发展起了推动的作用。本书以通俗的语言、生动的事例和丰富的插图深入浅出地介绍了自然界中和实验室里发现的许多有趣的有序与无序的现象，并简略地分析了产生这些现象的条件和原因。

本书适合高中学生作为课外读物，也可供教师、干部、大学生参考。

中学生课外读物
现代科学技术丛书
有序与无序的奥秘
李如生 著

*

人民教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京市房山县印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 4.25 字数 88,000
1984年12月第1版 1985年7月第1次印刷
印数 1—8,800
书号 7012·0866 定价 0.55 元

前 言

任何客观存在的社会系统和自然系统都具有三种“流”，这就是物质流、能量流和信息流。人类认识客观世界的过程，可以概括成对构成系统的三大要素“流”的认识过程。随着社会经济与科学技术的日益发达，信息流的重要性也越来越大。

人是要有理想的，有志青年更应当有远大的抱负。除去社会、教育等因素之外，对于青年来说，接受信息的数量与质量，对建立伟大的理想并提高和建立为实现这个理想而奋斗的勇气及坚韧不拔的精神有重要的作用。化学是一门与国民经济关系极其密切的科学，化学科学技术中的许多新兴领域对我国社会主义现代化建设具有重要的意义。因此，及早地向青年们传递现代化学科学技术成就与发展趋势的重要信息，将对他们的志向产生深远的影响。为此，我们以极大的热情为青年朋友们编写了这样一套中等现代科技丛书。希望得到广大青年读者和他们的师长们的热情支持。

参加这套丛书化学部分编写的作者大多既是多年来从事化学教学与科普工作的大学教师，又是本领域内的专家，他们熟悉青年的特点和需要。他们既是教育园地辛勤的园丁，同时又是化学新领域的默默无闻的开拓者。为了将自己宝贵的经验奉献给未来的建设者，他们用深入浅出而又生动活泼的方式和文笔写成这套丛书，向青年朋友们介绍这个领域内的新成就、新概念、新方法和新理论，并对其发展前景进行了富有生气的讨论。对于青年朋友来说，这套丛书不仅是一种有益的课外读物，可以扩大他们的知识面，而且可以使他们丰富的想象力获得有益的营养。

近代化学对于大多数具有中等水平的青年读者来说，可能还是一个未知的王国。在这块王国的土地上，开满了五光十色的奇花异葩，令人目不暇接。但是，任何尖端科学都离不开基础科学，阅读这套丛书应当有助于读者更重视基础知识的学习，丛书和教材应起相辅相成的作用。另一方面，当读者们由于基础不够或理论欠缺而不能完全看懂时，也不要气馁，只要鼓起勇气一直读下去，一定会有收获。

朋友，你爱大海吗？当你佇立在海边礁石上，望着那波涛起伏、浩瀚无际的大海时，你想些什么呢？你能感到大海所给予你的启示吗？虽然大海似乎深不可测，许多美丽的海生动物和植物对你那是那样的陌生，但你绝不会因此而感到惆怅。与此相反，从大海的深邃、广阔中，从大海那磅礴的气势中，你会感到心旷神怡、胸襟开阔。那水天一色的壮丽情景使你受到陶冶，那习习的海风使你流连忘返。大自然的雄伟给你增添了认识自然和征服自然的信心和勇气，而不是怯懦，难道不是这样吗？

青年朋友们，科学世界也是一种海洋，是知识的海洋、信息的海洋，也是智慧结晶的海洋，而且比大海还要广阔，还要美妙。只要你热爱科学，热爱未来，在科学海洋的面前，你一定会信心百倍地参加到征服自然的科学大军中去。在科学海洋面前，你会渐渐听到它的“声音”，并唱出美妙的和声来。

最后，我们应当感谢为编辑、出版这套丛书做了许多工作的人民教育出版社的同志们，没有他们的支持和辛勤劳动，这股信息流与读者之间是无法流通的。

宋心琦于清华园

一九八五年四月

致青年读者

有志于科学事业的青年，常常面临一个选择学科方向的问题。中学毕业了，报考什么大学，选择什么系？进了大学，选择哪个专业？即使确定了专业，也还有个重点学习哪些科目的问题。如此等等。

学科，其实就和鲁迅说过的路一样，本无所谓“有”，也无所谓“无”，某个方面的问题研究得多了便形成了学科。古时候总共只有一门科学，这就是哲学。后来才分出了社会科学和自然科学，自然科学又分为物理学、化学、生物学……。

科学分成学科，这本身是科学发展的需要，也是科学进步的表现。世界上的事情是复杂的，每件事情有每件事情自己的特点和规律，只有对它们作分门别类的研究，才可能弄清它们的特点和规律。

但是世界上的事情又是互相关联的。大自然并没有预先给科学家分封领地，有许多问题并不是某一门学科的特殊问题，而是几门学科甚至是许多门学科的共同问题。这本小册子所要讨论的有序-无序问题便是这样的问题。

笼统地说，世界上的一切物体，不管是很大的还是很小的，只要是由许多基本单元（如原子或分子）组成的，就其空间分布和时间发展来讲，大体可分为有序的和无序的，或比较有序的和比较无序的。世界上的一切变化，不管是物理变化、化学变化还是生物变化，也可按照它是向有序发展还是向无序发展来区分。

在人类文明史上最古老的问题之一恐怕正是：为什么有的东西是有序的，而有的东西是无序的？为什么有的东西越来越有序，而有的东西却越来越无序呢？

这个问题很重要，很有趣，但也很难回答。千百年来，前人曾化费了许多精力研究这个问题，但一直找不到答案。为此，科学家分成了两大派，一派主要以物理学家和化学家为代表，另一派主要以生物学家和社会科学家为代表。前者认为世界向着无序发展，后者认为世界向着有序发展。这种局面差不多持续到本世纪六十年代。

但是最近一、二十年，情况发生了很大的变化。一个重要的原因是，在本世纪五、六十年代化学家在化学实验室中发现了一些过去认为只能发生在生物界或社会中的有序现象。一个代表性的例子是所谓的化学振荡现象，也叫化学钟现象（见第三章第四节）。

化学中有序现象的发现，给科学家们带来了统一认识各类有序-无序现象的希望和可能。而这种可能性的实现必将大大提高人类认识世界和改造世界的能力。

这本小册子的目的就是向青年朋友们介绍科学家们为实现这一统一的目标所作的努力。第一章简单介绍物理学家和化学家的传统观点，第二、三章罗列一些大家已知的和可能还未知的有序现象，第四至六章介绍怎样去认识有序现象，第七章十分简略地介绍最近十年左右科学家们刚刚有所认识的有序-无序现象——混沌现象，最后谈谈有序-无序问题的研究前景。

青年朋友们，在阅读这本小册子的过程中你们将会发现，

有序-无序问题中既涉及物理学,更涉及化学,还有生物学,进一步的研究还需用大量的数学。因此,你们如果有志于研究这个问题,无论将选择或已选择了什么专业,都应该下决心学好化学、物理学、生物学和数学。

对编者来说,编写这样的小册子还是初次尝试。从主观愿望来说,希望青年朋友们在读完这本小册子之后,不仅能获得新的知识,也能在科学思维能力、科学研究方法和科学态度上得到一些启发。为此本书的编写在力求通俗的同时,既考虑了内容的新颖,又注意了介绍问题的历史发展过程。但由于这门新学科本身还处在形成过程之中,理论还很不成熟,涉及的新概念、新问题很多,知识面很广,加上编者科学水平和文字能力的限制,青年朋友在阅读时可能会遇到不少困难。特别在读第一章时可能会感到抽象和枯燥。但只要能坚持读下去,相信是可以基本读懂的。

如果青年朋友们在读完这本小册子之后,能提出一两个问题并立志去研究,编者便感到十分满足了。

目 录

致青年读者.....	1
第一章 无序王国——物理学和化学.....	1
一、有序与无序.....	1
二、热力学.....	4
三、热力学第二定律.....	8
四、耗散与秩序.....	12
五、热死论和宇宙机器.....	17
六、玻耳兹曼的解释.....	21
第二章 有序王国——生物学.....	27
一、生物有序.....	27
二、难以置信的生物大分子结构.....	28
三、生物钟.....	33
四、生物化学振荡和生态振荡.....	35
五、神秘的生物手性.....	39
第三章 自组织现象.....	43
一、两个不同的世界.....	43
二、飞向彼岸.....	45
三、流动的“蜂窝”.....	48
四、化学钟.....	52
五、化学画和化学波.....	55
六、“鹊桥相会”.....	59
第四章 有序结构和稳定性.....	62
一、究竟什么是有序.....	62
二、大的车祸是怎样发生的.....	65
三、大海中的波涛——涨落.....	68

四、稳定性	71
五、失稳和结构	75
第五章 平衡结构——“死”的结构	80
一、物质三态	80
二、晶体	82
三、玻耳兹曼有序原理	84
四、“死”的结构	87
第六章 耗散结构——“活”的结构	90
一、开放才能生存	90
二、非平衡是有序之源	93
三、耗散结构	96
四、反馈是有序之本	99
五、自动催化反应	104
六、化学钟是如何运转的	108
第七章 混沌	113
一、高级的有序——混沌	113
二、非平衡、结构和混沌	116
三、偶然性与必然性	120
再致青年读者	123

第一章 无序王国——物理学和化学

一、有序与无序

我们周围的事物和事物的变化是千差万别的。没有两个人是一模一样的,甚至没有两样东西是绝对一模一样的。

人们说两样东西不一样,主要是指这两样东西中质点的空间排布的次序不一样;说两件事情不一样,主要是指在这两件事情发展过程中各个具体细节发生的时间次序不一样。

粗略地说,如果某样东西内部的物质分布(例如原子或分子的排布)很有规律性,人们便说这样东西是很有秩序的。如果某件事情时间变化的先后次序很有规律性,则说这件事情的发生过程是很有秩序的。相反,如果某样东西内部物质分布或时间变化的先后次序毫无规律性,则说这样的东西是无序的。

区分哪些东西是比较有序的或是比较无序的并不困难。严格按大小次序排起来的扑克牌是有序的,如随便把其中的几张牌交换一下次序,便成了无序的,或者说与原来那种排列相比是无序的。

其实,并不是某种东西本身有序还是无序,而是这件东西内部“质点”分布状态是有序还是无序。而一说到质点分布状态,说话的人心目中必有一个物质的单位——“质点”,比如原子、分子或比分子大得多的个体(比如一张张的扑克牌),它们

是人们研究对象的基本结构单元。所谓分布状态的有序或无序，往往指的是这些基本结构单元的排列是有序还是无序。

一切物体都可以划分为许多更基本的结构单元。一副牌划分为一张张牌，一杯水划分为一个个水分子，一群人划分为一个个人，一个人又能划分为许多器官、细胞、分子……，等等。不过在人们平常言谈中说起物体或东西时，往往不大注重于它们是由更基本的结构单元组成的这一事实。

为了强调我们的研究对象是由更基本的结构单元组成的这一点，也为了在讨论有序-无序问题时用语更确切些，我们将采用物理学家和化学家惯用的“体系”或“系统”一词来代替“物体”或“东西”这样的词汇。体系通常指人们从相互作用着的整个世界中划分出来专门研究的那一部分。简单地说，是科学研究的主要对象。而世界上的其余部分称为外界或环境。另外人们把体系内部基本结构单元的分布状态简称为体系的状态。

一般说来，一个体系可以从有序状态变成无序状态，也可以从无序状态变成有序状态。但是恐怕每个人都有这个经验：有序状态比较容易转变成无序状态，而无序状态比较难于转变成有序状态。比如要把一副本来排列乱七八糟的扑克牌排列整齐要花好几分钟时间，可是要把一副本来排列整齐的扑克牌弄乱只需花几秒钟“洗”一下就能办到。

一副扑克牌总共才有54^①张，也就是说它包含54个基本结构单元，不管开始排列多么乱，整理得有序不算太难。如果

① 扑克牌 52 张，另有丑角 2 张。

一个体系内部的基本结构单元很多，虽然把本来很有序的状态变成无序的状态仍然很容易，但要把本来无序的状态变成有序的状态则是很难的。例如把一滴墨水和一杯清水混起来很容易，要把墨水“分子”和水分子再分开来就很不容易了。

容易发生的事情单靠体系自身就能发生，或者只靠外界稍加帮助就能发生，而不容易发生的事情则必须依靠外界的帮助才能发生。例如墨水“分子”和水分子混和的过程可以依靠墨水“分子”和水分子自身的杂乱运动来实现，而要把墨水“分子”和水分子分开来则必须采取特殊的方法。

在物理学和化学中，人们把那些只依靠体系自身的能力，而不需要外力(但象重力这样无处不在的外力除外)帮助就能发生的过程称为自发过程。例如墨水“分子”和水分子自动混和的过程是一种自发过程，而相反的过程不是自发过程。

墨水“分子”和水分子混和的过程也是一种从有序状态变成无序状态的过程。因为在墨水刚刚滴到水里的时候，墨水“分子”集中在某一局部地方，人们至少可以说出每个墨水“分子”在水中所处的大概位置，这就是说墨水“分子”在水中的分布有一定的规律，因此可以说墨水“分子”的分布比较有序。当墨水“分子”和水分子混和以后，每个墨水“分子”在水中杂乱地运动着，人们不再可能说出某个时刻某个“分子”究竟在什么地方，也就是说，这时墨水“分子”的空间分布比较无序。

这个例子说明，从有序态变成无序态的过程可以是一种自发过程，而从无序态转变成有序态的过程则是一种非自发过程。或者倒过来说，自发过程是从有序态变成无序态的过程。

还可以举出许许多多例子来说明这一点。譬如拿炸药爆炸的过程来说吧。当炸药的温度超过一定值以后，它就可以自动发生爆炸。大家知道，炸药分子是一种由许多原子组成的大分子。在炸药爆炸过程中，炸药大分子分解为许多较小的气体分子。在炸药大分子中，原子以确定的次序排列着。炸药分子分解成小分子以后，某些原子间的排列次序被破坏了。因此炸药爆炸的过程是一种自发过程，同时又是一种从有序态变成无序态的过程。相反的过程虽说不是绝对不可能，但必须借助于外界的帮助、采取特殊的化学方法才可能实现，因此是非自发过程。

正是从大量类似的经验事实中，物理学家和化学家得出一条结论：随着时间的流逝，物理化学体系总是自动地从有序状态转变成无序状态，而不会自动地从无序状态转变成有序状态。或者简单地讲，自发过程总是使体系从有序变成无序。

二、热 力 学

有的读者可能会怀疑上节得出的结论是否是一个普遍规律。这种怀疑是有一定道理的。要是真的一切物理-化学体系总是从有序变成无序，恐怕我们周围的一切，包括我们自身，早就不会是这个样子了。

可是长期以来，物理学家和化学家却认为上节得出的结论是一条普遍规律，至少在地球上是一个普遍规律，其理由是他们认为这一结论可以从一条最普遍成立的自然定律——热力学第二定律推出来。

什么是热力学第二定律？为了回答这个问题，先得说说什么是热力学。

笼统地说，热力学是关于体系交换能量时所遵循的规律的学说。

大家知道，能量有各种各样的形式，例如热能、机械能、电能、化学能等等。物体交换能量主要有两种方式：一是通过传热，二是通过作功。通过传热过程交换的是热能，通过作功过程交换的是机械能（也可以是电能、化学能等）。因此热力学可以说是关于热能以及热能和机械能等其它形式的能量之间转换规律的学说。在古时候，人们把热能以外的能称为“力”，因此热力学可以说是关于热现象和“力”现象之间关系的科学。

这样的定义读者可能还会感到不够具体，那么让我们来简略回顾一下热力学的发展历史吧。

早在远古时候，人们就在生产上和生活上接触到了热现象。不过人类对热现象的本质有所了解还是十八世纪以后的事情。

在十八世纪初，欧洲出现了蒸汽机，这是一种把高温水蒸气的热能转换为机械能的装置。

蒸汽机的工作过程大致是这样的：首先用锅炉使水变成高温高压蒸汽。在这过程中水蒸气吸收大量热能。接着高温高压蒸汽通过膨胀推动活塞运动，并通过适当的连接装置对外作功。在这过程中高温蒸汽把一部分热能转变成机械能，同时蒸汽由于膨胀而变成低温蒸汽。随后这些低温蒸汽排入冷凝器或放入大气。这时蒸汽的一部分热能随之排入冷凝器

或大气。由于锅炉的温度很高, 冷凝器或大气的温度较低, 人们把锅炉称为高温热源, 冷凝器或大气称作低温热源。蒸汽机就是工作在高温热源和低温热源之间的一种装置。它从高温热源吸收热能, 向低温热源排出热能, 在这过程中对外做功。

从能量角度来说, 蒸汽机以及所有能把热能转换为机械能的装置(它们统称为热机)的工作过程可用图 1.1 来表示。

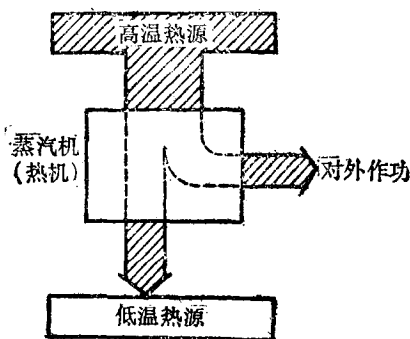


图 1.1 热机工作过程

如果高温热源向蒸汽机供给的热(能)量一定, 显然蒸汽机对外做功越多越好, 换句话说, 蒸汽机对外做功和它从高温热源吸收的热能之比越高越好。人们通常称这个比例为蒸汽机的效率。

到了十九世纪, 蒸汽机开始在工业上广泛应用, 这大大促进了工业的迅速发展。而工业的发展又对蒸汽机的效率提出了更高的要求, 这就促进了人们对热的性质以及热与其它能量之间转换规律的研究。大量的研究表明, 所有的蒸汽机、甚至所有的热机有着共同的特点: 为了对外做功, 必须从高温热

源吸热，向低温热源排热。这一点首先是由一个名叫卡诺的热机工程师发现的。

到了十九世纪中叶，人们从大量的实验事实中总结出了两条结论：

第一，能量既不能凭空产生，也不会凭空消失，但可以从一种形式转化为其它形式，或者从一个体系转移到别的体系。

这就是大家已经学过的能量转化和守恒定律，也叫热力学第一定律。

第二，其它形式的能量（例如机械能）很容易转变成热能，而热能却不那么容易转变成其它形式的能。说得更具体一些，其它形式的能可以自发地、百分之百地转变成热能，而热能不能自发地、百分之百地转变成其它形式的能。

请注意这里有“自发地”和“百分之百地”两个修饰词。这两个修饰词很重要，切不要把上面的说法简单说成“其它形式的能可以转变成热能而热能不能转变成其它形式的能”。

上述第二条结论的根本之点实际上就是卡诺的发现：一切热机必须要有高温热源和低温热源才能工作。彼此温度相同的体系不能互相作为热源。只有在热能从高温热源流向低温热源的过程中才可能有一部分热能转换为机械能。这种情况和水轮发电机的工作情形是很类似的，水轮机必须在有一定水位差（或压差）的水流中才能工作。在水轮机工作过程中，总有一部分水流的机械能从水轮机的上游跑到下游的流水中去。同样，在热机工作过程中，总有一部分热能从高温热源跑到低温热源中去。因此如果没有外界帮助，高温热源的热能不能百分之百地转换为机械能。