

协同学： 理论与应用

[联邦德国]H·哈肯

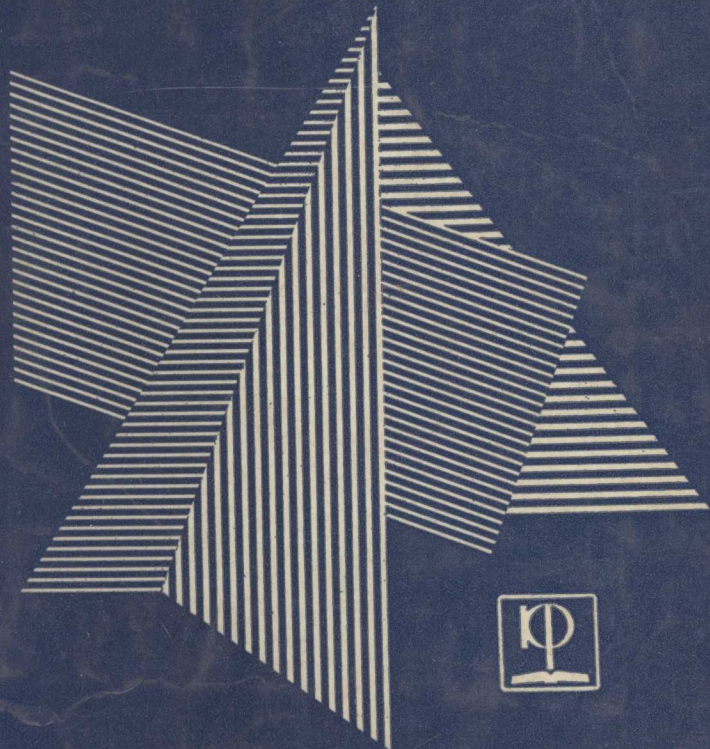
杨炳奕

戴鸣钟 顾国庆

著

译

校



中国科学技术出版社

协同学：理论与应用

[联邦德国] H·哈肯 著

杨炳奕 译

戴鸣钟 顾国庆 校

中国科学技术出版社

内 容 提 要

本书是协同学创始人哈肯在华发表的最新专著。该专著全面反映了协同学的一般微观方法和一般宏观方法，阐述了协同学的理论、应用和最新的发展及其与相邻学科的关系。本书对协同学的发展将起重要的作用。

本书适用于自然科学、社会科学、系统工程科学界教师、学生、研究人员使用。

协同学：理论与应用

[联邦德国] H·哈肯 著

杨炳奕 译

戴鸣钟 顾国庆 校

责任编辑：王正藩

封面设计：王序德

正文设计：王羽非

*

中国科学技术出版社出版（北京海淀区白石桥路32号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

上海机械学院 印刷厂印刷

*

开本：787×1092 毫米 1/32 印张：10 字数：233.25千字

1990年7月第一版 1990年7月第一次印刷

印数：1—2,000册 定价：6.00元

ISBN 7-5046-0186-1/0.3

前 言

协同学创始人、德意志联邦共和国斯图加特大学理论物理和协同学研究所所长海尔曼·哈肯教授于1986年10月应我院邀请前来讲学。在这次讲学中他系统地讲授了协同学理论与应用及其最新发展。哈肯教授以其深邃的思想、渊博的学识、清晰的思路、优美的语言以及他那由浅入深循循善诱的启发式教学方法使讲学获得了极大的成功，受到听众的热烈欢迎与高度赞赏。哈肯教授并受聘为我院名誉教授。为了促进协同学在中国的传播和发展，我们和哈肯教授共同商定将这次讲学的内容整理成书，在中国出版。这就是本书的缘由。在哈肯教授的热情支持下，本书终于和读者见面了。

哈肯在本书（即这次讲学）中首次明确以协同学一般微观方法和协同学一般宏观方法的体系来系统地阐述协同学已有的主要发现。对于协同学的发展来说，这是有重大意义的标志。迄今本讲座以前的协同学著作，都是基于微观描述，然后由此导出系统的宏观行为，这就是本书中的一般微观方法。这种方法需要熟悉系统微观过程的机制和相互作用，即应认识到某种第一原理。这种方法应用于自然科学特别是物理学中的许多问题，取得了令人满意的成就。但是在生物和社会中的许多问题，往往我们并不知道或很难直接应用某些第一原理，因而协同学一般微观方法的应用就受到很大的限制。本书中的一般宏观方法是哈肯新近的研究成果。这种方法不借助于第一原理，而直接从实验资料出发，是一种宏观唯象的方法。在这种方法中，信息和最大信息熵原理起着非常重要的作用。应用这种方

法，处理一些相互作用不很清楚的过程才有可能。这样，协同学就能应用于物理学、生物学、经济学等许多不同学科的问题。协同学这方面的发展，对于系统科学基础理论的建立来说，有着特别重要的意义。我国著名科学家、系统科学最热情的倡导和开拓者钱学森曾说过，建立系统学特别要吸收哈肯的协同学。首次反映在本书中的一般微观方法和一般宏观方法统一的协同学理论体系，为系统学的建立提供了极宝贵的理论成就。

海尔曼·哈肯(Hermann Haken)1927年生于联邦德国莱比锡。1951年在爱尔朗根(Erlangen)大学获得数学博士学位，1956年成为该校理论物理讲师。自1960年起他一直是联邦德国斯图加特(Stuttgart)大学理论物理学教授，从1967年起他成为霍恩海姆(Hohenheim)大学的荣誉教授，此外，还担任美国、英国、法国、日本和苏联多种研究机构的客座科学家、顾问和访问教授。1969年创立协同学。哈肯教授的主要研究领域包括：群论、固态物理学、激光物理学和非线性光学、统计物理学、等离子体物理学、分歧理论、化学反应模型以及形态形成理论等，并作出了大量的杰出贡献。其主要著作有：《激光理论》、《协同学导论》、《高等协同学》、《固体量子场论》、《信息与自组织》等。由于哈肯教授对固体的激态理论、量子光学特别是激光理论作出了杰出的贡献，1976年英国物理研究院和德意志物理研究学会授予其马克思·玻恩(Max Born)奖金和类章。由于他对激光理论的研究工作和对协同学的开拓性努力，1981年美国富兰克林研究院授予他阿尔伯特A·米切尔森(Albert A·Michelson)奖章。1982年埃森(Essen)大学授予他荣誉博士。他是联邦德国利奥波迪纳(Leopoldina)科学院院士、巴伐利亚科学院通讯院士。1984年他被授予联邦

德国功勋科学家称号。1986年在华讲学期间，上海机械学院授予他名誉教授，中国系统工程学会授予他名誉会员。

哈肯教授对中国有着特殊的感情，他对中国渊远流长的整体思想给予了高度评价，他说“今天我们越来越清醒地认识到，对复杂现象进行整体处理是多么重要”。在讲学期间，他热情地和我院签订了进行长期合作交流的协议。现在，我们高兴地看到，我们的合作已有了良好的开端，并在逐步深入。对于哈肯教授在我们两校合作中所做的贡献，我们表示衷心的感谢。

本书是由杨炳奕同志根据讲学的记录和录音，以及哈肯教授寄来的补充资料整理、翻译而成。我们感谢他付出的巨大辛劳。对中国科学技术出版社给予的支持，我们也表示深切的谢意。中国系统工程学会《系统工程丛刊》编委会主任张钟俊教授、副主任刘豹教授审阅了全稿，我们表示衷心的感谢！

由于我们的水平有限，书稿整理中的遗漏和不妥之处，敬请读者指正。

戴鸣钟 车宏安

于上海机械学院

1989年10月

序

H·哈肯

本书主要基于1986年10月我在上海机械学院的讲学整理而成，外加一章《关于协同学理论与应用的几个专题》以及一个附录《协同学的发展路线》。我为我能够在上海机械学院向广大热情而且兴趣盎然的听众——中国的教授和学生们做这样一个系列讲学感到万分荣幸，也为20年前我创立的协同学这个交叉学科在中国所受到的热烈欢迎而感到无比激动。协同学这一学科试图填补过去几个世纪西方盛行的分析方法与具有悠久历史尤其是中国具有源远流长传统的整体思想之间的鸿沟。事实上，今天我们越来越清醒地认识到，对复杂现象进行整体处理是多么重要，在我们这个世界里，复杂现象从物理学到经济学领域比比皆是。

协同学的一个重要侧面在于其交叉学科性。这种交叉学科性今天已经成为无穷新发现的起源之一。协同学从物理中产生，然而它很快就用于处理化学中的宏观图样形成问题、生物学中的许多问题以及其它学科，最近我们甚至在认识科学以及计算机科学中也能找到它的应用，在这里协同学提供了一种利用机器进行图样辨识的新思路。

我衷心希望本书对中国教授、科学家以及大学生们的研究工作大有裨益。我也很高兴能够值此向上海机械学院的院长以及（系统工程系）系主任表示我衷心的感谢，感谢他们对我的邀请以及盛情友好的接待。我也感谢机械学院其它曾向我提供无微不至照料的人士。我特别感谢杨炳奕先生，当我在上海机

械学院的讲学期间，他出色地承担了翻译的任务，我对他的精湛翻译惊叹不已。此外他还进一步不遗余力地整理我的讲稿，将它翻译成文。根据我自己在其它语言方面的亲身经验，我知道这是一件极其艰巨的任务，他还根据自己的挑选精心地加进了本书的第5章以及一个附录，这个附录译自我在一家德文杂志上发表的一篇文章。

1989年9月15日于西德斯图加特大学理论物理与协同学研究所

序 原 文

PREFACE TO THE BOOK ON SYNERGETICS: THEORY AND APPLICATION

The book is mainly based on lectures I gave in October 1986 at the Shanghai Institute of Mechanical Engineering. An additional chapter on some special topics on synergetics and an appendix on lines of developments of synergetics have been added. It was a great pleasure for me to deliver these lectures at SIME in front of a wonderful and highly interested audience of Chinese professors and students. I was overwhelmed by the enthusiasm with which the interdisciplinary field of synergetics which I founded about 20 years ago was welcomed in China. This field tries to bridge the gap between the analytical method which has prevailed in the western world over the past centuries and the holistic approach which has a long lasting tradition especially in China. Indeed we nowadays learn more and more how important the holistic treatment of complex phenomena, which are abundant in our world ranging from physics to economy, is.

An important aspect of synergetics is its interdisciplinarity which has been a source of never-ending surprises.

while synergetics originated from physics, it soon dealt with questions of macroscopic pattern formation in chemistry and a number of problems in biology as well as in other fields. More recently, it has even found applications in the cognitive sciences as well as in computer science where it provides new approaches to pattern recognition by machines.

I do hope that this book will prove useful to Chinese professors, scientists, and students for their own work. It is a great pleasure for me to thank the Rector and the Dean of SIME for inviting me, and for their generous hospitality. My thanks go also to all the other members of SIME who took very kindly care of me. My special thanks go to Mr. Yang Bing-Yi who did an excellent job in translating my lectures while I was at SIME, and I was really surprised at his skills. He then undertook the very difficult task to work out my lectures and to translate them into written Chinese which is, as I know by own experience with respect to other languages, an extremely difficult job. He also took care of adding the sections of Chapter 4 according to his own choice and to add the appendix based on an article of mine in a German journal.



H. Haken

目 录

前言

序(中文、英文)

1. 我是怎样创立协同学的..... (1)
2. 协同学: 导论与综述..... (10)
 - 2.1. 物理学能解释生命现象的形成吗..... (11)
 - 2.2. 激光系统..... (13)
 - 2.3. 与其它概念的关系..... (22)
 - 2.4. 协同学..... (30)
 - 2.5. 物理与化学的一些例子..... (34)
 - 2.6. 利用序参量与支配的概念对复杂系统建模: 一个来自生物学的例子..... (37)
3. 协同学一般微观方法..... (44)
 - 3.1. 一般微观方法综述..... (44)
 - 3.2. 支配原理..... (92)
 - 3.3. 在生物学的一个应用: 形态发生模型..... (105)
 - 3.4. 序参量建模: 手的运动..... (124)
4. 协同学一般宏观方法..... (133)
 - 4.1. 一般宏观方法综述..... (133)
 - 4.2. 非平衡相变点附近的信息、信息增益与效率..... (149)
 - 4.3. 非平衡相变点附近的信息与信息熵: 一

1. 我是怎样创立协同学的

(H·哈肯教授在上海机械学院名誉教授受聘仪式上的演讲)

院长先生、副院长先生、系主任先生、同事们、同学们：

能够受聘为著名的上海机械学院的名誉教授，这对我来说真是莫大的荣幸。我为这次能访问贵校感到由衷的高兴，也为贵国授予我的种种荣誉感到无尚光荣。值此，谨向贵校、贵国表示我深深的谢意。

我很高兴这次能到这里向你们作系列的讲学，跟你们进行各种有趣的、富有启发的讨论。应该说我也从来自你们的各种非常有趣的问题、讨论和评论中受益匪浅。我盼望我们今后能够加强合作，并真诚希望这种合作能够增进中华人民共和国和德意志联邦共和国之间的友谊和往来。

现在我想向你们谈谈我是怎样创立协同学这门学科的。事实上我原先是一个数学家，1951年由于我对群论的研究而获得了数学博士。然而在1950年至1960年的十年间我却致力于固态物理学。随后的另一个十年里我又转向激光物理学，同时继续在固态物理学方面作些研究。从1969年开始，我就致力于协同学的创立和发展上。由于激光理论对我的思想起过重要的影响，也是形成协同学思想的主要线索之一，我想首先谈谈我是怎样研究起激光的。

在1959和1960年间，我在美国度过了一年的时光，最初是在康奈尔大学，尔后到了贝尔电话实验室。1960年春，那里的研究者对于寻找一种新光源——当时叫光学激光器——很感

兴趣，而在那时并没有人知道怎样构造这样一种光学激光器。这种光学激光器的基本原理已于1958年由Townes等人提出，然而当时在激光理论方面人们仅仅知道微波的放大和产生。1958年Schawlow和Townes萌发了一个想法，即制造一个能起激光器作用的装置，所以在1960年这里的人们对于找到这样一种新光源怀着浓厚的兴趣。当时我是这个公司的顾问，因而也不得不考虑如何构造这种光源。

但往往实践比理论来得快。1960年底Maiman就宣布第一个激光器试验成功。然而对于激光内在过程的认识还是没有解决，我预感到要正确认识激光还存在许多理论上的问题有待发现。因此在我1960年底回到斯图加特大学、成为该大学的一名教授之后，就继续激光物理的研究。1962年我提出一种理论，根据这种理论我们可以解释激光的许多特性，如强度、不同光场之间的协作和竞争。我还发现在诸多激光模之间存在着某种达尔文主义，也就是说不同的激光模彼此之间互相竞争，通过竞争某种特定的“模”或“组态”最终被选择出来。但是，这理论尽管本身非常优美，却仍有美中不足：一方面我可以很好地解释激光的许多特性，另一方面我却不能用这理论去解释一盏普通灯光所具有的性质，也就是说对比起激光要简单得多的普通灯光的解释并不能包含在我的理论之中。因此在我的理论之中可能损漏了某种重要的因素。几经思索，我终于明白了灯光的工作原理：从电讯工程的意义上来讲，普通灯光仅仅产生“噪音”。假设我们能够听到灯光发出的“声音”，我们听到的只是噪声，就象我们走到海滨听到大海发出的种种噪音一样。但另一方面，根据我们的理论，激光类似于某种优雅的、比如说由小提琴发出的单音。因此我们必须能够解释，为什么一方面普通灯光只产生噪音，而另一方面激光却能形成单音。

为此，我进而在我的理论中加进了涨落的概念，涨落是原子自发发光时产生的。一个原子发射光波的过程类似于投掷一块小砾石于水中，而所有的原子的这种发光过程将会形成一种杂乱无章的、频带很宽的光场。但是另一方面我们已知激光仅仅形成频带很窄的光场，或者说一种音色纯正的单音。因而我发现到那时为止所发表的种种理论并不能解释激光的原理，这些理论一般都将激光解释为一种放大效应。他们认为：原子发射光波，而当这些原子发射出来的光波打到另一些原子上时，这些光波就被加强、被放大，因此激光器起了一种放大器的作用；当某种信号被产生之后，激光器就放大这种信号。然而我的理论所预言的结果却全然不是那一回事，这个理论预言：激光光场不是一种放大器，它与现在的任何一种光源都存在着全然不同的性质。

当时我还很年青，我也不大愿意看到我的理论与所有专家的理论相违背这一事实。按常例，当这种情况降落到谁头上时，他的第一反应总是心情忐忑，不大愿意将自己的结果公诸于众。因此我就请教了一些专家。他们跟我说：你的理论是错误的，激光器不能产生你所预言的状态。尽管遭到了专家们的种种非议，我还是大胆地发表了我的结果。很幸运，之后不久我们所做的实验完全证实了我的理论，因此应该说当时是受益于实验物理学家的。我也从这次经历中学到了一课：如果你相信你的理论是对的，那就不要为专家们所左右，坚持下去，找到支持你的理论的种种论据。这也是我一生中学习到的重要的一课，从那时起我再也不相信任何权威，即便他们有多高的名望。“相信自己”——这是我从中得到的重要的经验。当然另一方面我也深知有时自己也会犯错误，因此我也乐于接受批评和忠告，以便改正错误。所以一个人在其一生中必须不断去

寻求某种平衡，以完善地处理某一具体的问题。

但当我们继续深入研究从普通灯光到激光的过渡之后，我们发现这种过渡与热力学中的相变存在着很多相似之处，我们也的确从热力学相变中得到了不少启发。大家可能熟知固态物理中的相变，比如一块金属板壳受压后产生弯曲图样；或者加热液体中的相变如水沸腾变成蒸汽或者冷却结成冰。事实证明：从普通灯光到激光之间的“相变”是与热力学相变很类似的。所以在六十年代我们不断深化、完善我们的理论，最后发现从灯光到激光的转变与热力学相变之间存在着极其优美的相似性。我们还可以证明，尽管我们的研究对象是激光，我们的理论却完全可以将超导体中的 Ginzburg-Landau 理论包含在内。不过这两者之间存在着两点不同：一是 Ginzburg-Landau 理论是一种唯象理论，另一是 Ginzburg-Landau 理论只能应用到热平衡系统。但我们现在可以证明：这些结果也可以应用到一个远离平衡态的系统。激光器是一个不断从外界获取能量的装置，也就是说这个系统是远离平衡态的。此外，我们是从第一原理 (First Principle) 导出这些方程和结果的。这就是我们在大约 1968、1969 年左右发展起来的协同学微观理论。1969 年我在斯图加特开始讲授这一理论。一方面，我发现激光模与生物界的达尔文主义之间存在着极强的类似，生物界的达尔文主义认为：淘汰和突变决定了新物种的起源；另一方面正如上面所述，我们已经发现激光中的相变与铁磁体、超流体等等中的相变之间的相似性。因此我向自己反问道：达尔文主义是生物界、或者说生命世界中的一条普适的原理，为什么它不能同时也适于无生命世界，诸如激光、流体和其它系统呢？此外，相变是热力学平衡系统中的普遍现象，为什么它不能同时也是存在于远离平衡态系统中的一个普遍现象呢？对这个问题的思

考导致了我创立一门新的研究领域的想法，这个新的领域就是后来的协同学。协同学一辞（Synergetics）来源于希腊文，其含义是“协同工作”。

而这时我的这种关于“普遍现象”的观点也同时得到了许多其它领域的新发现的支持。大约在1969，Eigen作了许多讲话，对他的生物分子进化理论作了论述。出乎我意料的是，他应用的方程与我们对激光所建立起的方程完全类似。也就是说我们现在有截然不同的两门学科：一方面是分子或生物分子的生物进化，另一方面是激光模，然而这两个截然不同的领域却由同样类型的方程所支配！当时我认为：这不可论是出于巧合，在这些问题的背后可能有更基本的原理在起作用。因此我开始考虑更多的其它系统、阅读一些文献，结果我发现越来越多的例子：比如来自流体力学的例子，来自生物学的例子（如某种特定式样的蘑菇的生长）等等。

1969年我在教学中宣布协同学这门学科的诞生之后，我在一家德文杂志上发表了一篇文章，题目叫“协同学：一门关于协作的科学”。这在当时的确是相当大胆的，因为在当时我也仅仅是找到为数不多的几个可以用来支持这样一门学科的例子，而我却装出似乎已经有一门完整的学科存在似的。我的一个朋友告诉我，这的确是一篇很好的文章，可惜论据不充分。之后，我们一方面持之以恒，一方面锐意探索。1972年我组织了一个会议，名称就叫协同学。我向世界各地的许多专家发出邀请，大家坐在一起进行讨论。会前我已经事先阅读了与会者的文章，我发现所有这些文章都表明：存在一个共同的基本原理。这些文章分别考虑了各种形态形成，如蘑菇的形成、城市的发展等等。我发现事实上人们都可以用某种特定的量——我们称之为序参量——来描述这些现象。因此到此为止可以说我