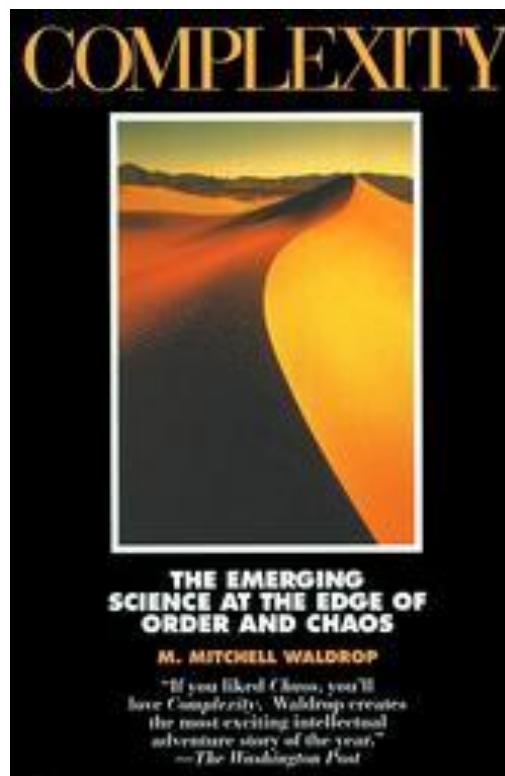
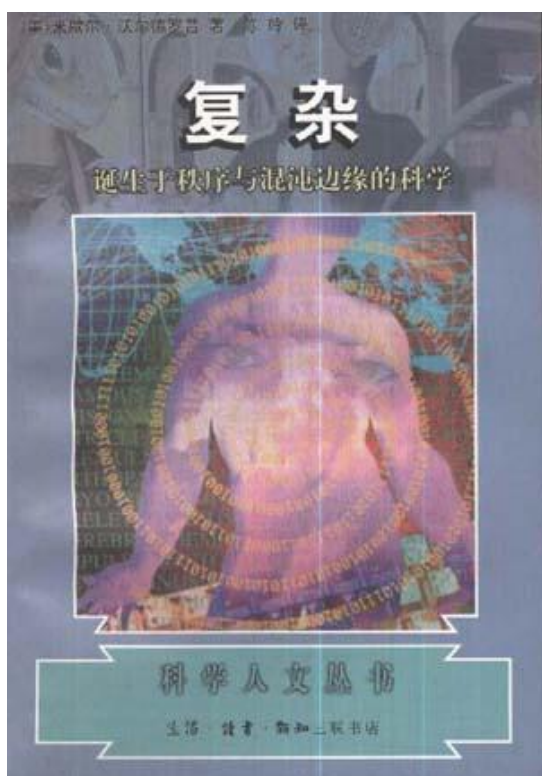


复 杂

(COMPLEXITY)

诞生于秩序与混沌边缘的科学

(THE EMERGING SCIENCE AT The EDGE OF ORDER AND CHAOS)



作者：米歇尔·沃尔德罗普 (Mitchell Waldrop)

译者：陈玲

ISBN: 9787108010056

页数：505

定价：26

出版社：生活·读书·新知三联书店

装帧：平装

出版年：1997-04

目 录

概 述	3
第一章 爱尔兰理念的英雄	7
第二章 老师倒戈	44
第三章 造物主的秘密	88
第四章 “你们真的相信这套？”	123
第五章 游戏高手	131
第六章 混沌边缘的游戏	181
第七章 玻璃房中的农民经济	220
第八章 等待卡诺	252
第九章 乘胜前进	296

概 述

这是一本关于复杂性科学的书——这门学科还如此之新，其范围又如此之广，以至于还无人完全知晓如何确切地定义它，甚至还不知道它的边界何在。然而，这正是它的全部意义之所在。如果说，复杂性科学的研究领域目前尚显得模糊不清，那便是因为这项研究正在试图解答的是一切常规学科范畴无法解答的问题。比如：

为什么苏联对东欧四十年的统治会在 1989 年的几个月之内轰然坍塌？为什么苏联自身也在其后不到两年的时间分崩离析？这些当然与名叫戈尔巴乔夫和叶利钦的两个人有一定的关系。但即使是这两个人自己，也像是被他们完全无法控制的事件席卷裹挟而不能自己。这是否是因为有某种全球性的、超越个人能量的原因在起作用？

为什么股票市场会在 1987 年 10 月的一个星期一这一天之中猛跌五百多个百分点？很多评论将之归咎于股票生意的计算机化。但计算机的应用已有多年，没有任何答案可以解释为什么股票偏偏在那个特殊的星期一狂跌不已？

根据化石标本的记载，古代物种和生态系统常常稳定地保持了几百万年，而后却在地质期的某一瞬间灭种或演变为新的物种，这是为什么呢？也许恐龙是因为小行星的影响而遭到灭绝，但那时并没有那么多的小行星，还有其它因素在起作用吗？

为什么在孟加拉这样的国家，即使在实行免费节育措施之后，农村家庭仍然平均要生七个孩子？甚至村民们似乎完全清楚，由于他们的国家人口过多和发展停滞，他们正蒙受着怎样的苦难。为什么他们仍要明知故犯他要沿袭这种行为方式，使自己陷入灾难深重的境况呢？

原始的液态氨基酸和其它简单的分子是如何在四十亿年前转化为最初的活细胞的？分子是不可能随机地组合在一起的，但生命起源学家们却又津津乐道地说，不发生这样的情形是荒谬的。难道生命的起源竟是一个奇迹？抑或是液态氨基酸中有我们至今尚不知晓的致因？

为什么单个细胞在六亿年前开始组合，从而形成像海藻、水母、昆虫，最后

到人类这样的多细胞生物体？而人类又为什么要耗费这么多的时间和这么大的力气来把自己组成家庭、部落、社团、民族及各种类型的社会？如果进化（或资本主义自由市场）真是完全由适者生存法则决定的，那么为什么又会发生一些与人际之间残酷竞争毫不相关的事情呢？在这个好人经常无法坚持到底的世界上，为什么又有像信任与合作这样的事？为什么尽管有各种各样的情况，但信任与合作却不但存在，而且还会发扬、昌盛？

达尔文的自然选择论如何解释像眼睛和肾脏这样精妙复杂的结构？难道我们在生命体上所发现的这些精妙得令人无法相信的组织，真的仅仅是随机进化的偶然结果吗？抑或在四十亿年前还有什么别的、达尔文所不了解的因素在发生作用？

生命究竟是什么？难道生命无非是一种特殊而复杂的碳水化合物？还是某种更微妙的东西？我们制造出来的像计算机病毒这样的东西究竟是什么？它们仅仅是恼人的生命的仿造品吗？或者，从最根本的意义上来说，它们真是活物吗？

脑子是什么？大脑这个普普通通的三磅重的团块，是如何产生像感情、思想、目的和意识这样不可言喻的特征的？

也许最根本的是，为什么总是有而不是无？宇宙始于大爆炸后一片潮湿的混沌，然而至此开始，就像热力学的第二定律所形容的那样，宇宙就受制于某种不屈不挠地趋于混乱、解体 and 衰败的倾向力。但它同时又无处不产生着结构：银河、恒星、行星、细菌、植物、动物和大脑。这又是怎么回事呢？是因为永恒趋于混乱的强制力与同样强大的趋于秩序、结构和组织的强制力之间有某种抗衡的力量？如果是这样的话，这两种力量是如何同时发生作用的呢？

乍一看，这些问题只有唯一一个共同点，那就是，它们都有一个共同的答案：“无人知晓”。有些问题看上去甚至根本就不是科学问题。但当你进一步研究它们时，你就会发现，这些问题其实有许多共同之处。比如，它们都属于一个系统，即复杂系统。也就是说，许许多多独立的因素在许许多多方面进行着相互作用。比如千百万个蛋白、脂肪和细胞核酸相互产生化学作用，从而组成了活细胞；又比如由几十亿万个相互关联的神经细胞组成的大脑，以及由成千上万个相互依存的个人组成的人类社会。

而且，在每种情况中，这些无穷无尽的相互作用使每个系统作为一个整体产生了自发性的自组织。人们在力图满足自己的物质需要的过程中，通过无数个人的买卖行为，无意识地将自己组成了某种经济体制，就属于这种情况。这并不是在有人负责或有意识地计划下发生的情形。又比如，基因在一个不断发展的胚胎中以一种方式将自己组合成肝脏细胞，又以另一种方式将自己组合成肌肉细胞；飞鸟顺应邻居的行为而无意识地将自己聚集成群；生物体经常相互适应而得以进化，从而将自己组合成为精巧协调的平衡系统；原子通过相互化合得以找到最小的能量状态，从而使自己形成被称之为分子的结构。在所有这些情形中，一组组单个的动因在寻求相互适应与自我延续中或这样、或那样地超越了自己，从而获得了生命、思想、目的这些作为单个的动因永远不可能具有的集成的特征。

更进一步的是，这些复杂的、具有自组织性的系统是可以自我调整的。在这种自我调整中，它们并不像地震中的滚石那样仅仅只是被动地对所发生的事件作出反应。它们积极试图将所发生的一切都转化为对自己有利。因而人类的大脑经常在组织和重组它几十亿个神经联系，以吸取经验（总之有时是这样的）；物种为在不断变化的环境中更好地生存而进化——在企业和工业领域的情形也是如此。市场对消费口味和生活方式的变化，对移民、技术发展。原材料价格的变化和其它一系列因素的变化不断地作出反应。

最后一点，每一个这样自组织的、自我调整的复杂系统都具有某种动力。这种动力使它们与计算机集成电路块和雪花这类仅仅只是复杂的物体有着本质上的区别。复杂系统比它们更具自发性，更无秩序，也更活跃。然而与此同时，这种特殊的动力对离奇古怪的、无法预测的螺旋运转，即被称之为混沌的状态，却还相距遥远。在近二十年中，混沌理论已经动摇了科学的根基，它使人们认识到，极其简单的动力规律能够导致极其复杂的行为表现，譬如无数细小的碎片所产生的整体美感，或无数翻沫所形成的汹涌的河流。然而混沌理论本身仍然无法解释结构和内聚力、以及复杂性系统自我组织的内聚性。

但复杂性系统却具有将秩序和混沌融入某种特殊的平衡的能力。它的平衡点——即常被称为混沌的边缘——便是一个系统中的各种因素从无真正静止在某一个状态中，但也没有动荡至解体的那个地方。混沌的边缘就是生命有足够的稳定性来支撑自己的存在，又有足够的创造性使自己名副其实为生命的那个地方；

混沌的边缘是新思想和发明性遗传基因始终一点一点地蚕食着现状的边缘的地方。在这个地方，即使是最顽固的保守派也会最终被推翻。混沌的边缘是几个世纪的奴隶制和农奴制突然被五十年代和六十年代的人权运动所取代的时刻；是长达七十年的苏维埃突然被政治动乱所取代的时刻；是进化过程中万古不变的稳定性突然被整个物种的演变所取代的时刻。混沌的边缘是一个经常变换在停滞与无政府两种状态之间的战区，这便是复杂性系统能够自发地调整和存活的地带。

在混沌边缘发生的复杂、调整和剧变——这些共同的特征是如此显著，以至于越来越多的科学家相信，在一系列仅仅是顺理成章的科学类推之外肯定还有更多的东西存在。这场科学运动的神经中枢便是被称之为桑塔费研究所的智囊机构。这个研究所创建于八十年代中期，最初坐落在坎杨路桑塔费艺术区中一个租来的女修道院里（举办学术讨论会的地方过去是一个小教堂）。聚集在这里的研究人员虽然来自不同的阶层和背景，包括从梳着马尾巴发型的研究生到像物理学家马瑞·盖尔曼（Murray GellMann）、菲利普·安德森（Philip Anderson）和经济学家肯尼思·阿罗（Kenneth Arrow）这样的诺贝尔桂冠得主，但他们都达到了一个基本的共识，那就是，他们都坚信一个将普照自然和人类的新科学——复杂性理论。他们相信，近二十年来的知识热潮在神经网络、生态平衡、人工智能和混沌理论这样一些领域所取得的成果已经助使他们掌握了建立这个复杂性理论框架的数学工具。他们相信，对这些新思想的运用使他们得以从过去无人知晓的角度和深度来认识这个自发、自组的动力世界。这一认识将对经济和商业行为，甚至政治行为发生潜在的巨大影响。他们相信，他们正在凌厉地冲破自牛顿时代以来一直统治着科学的线性的、还原论的思维方式。他们的突破已经能够使它们面对当今世界的最重大的问题。他们相信，他们正在开创的是，套句桑塔费研究所创始人乔治·考温（George Cowan）的话，“二十一世纪的科学”。

这本书就是关于他们的故事。

第一章 爱尔兰理念的英雄

布赖恩·阿瑟(Brian Arthur)独自坐在酒店吧台旁的桌边,凝视着前窗的窗外,尽量不去理会那些正在涌入酒店,早早开始享受幸福时刻的年轻上班族。窗外,金融区的水泥峡谷中,典型的旧金山雾正在转变成典型的旧金山细雨。这正适宜他现在的心情。在1987年3月17日将近傍晚的下午,他没有情绪欣赏那些铜制设备、蕨类植物和彩色玻璃,也没有情绪庆祝圣·帕特里克节(Saint Patrick's Day 又称爱尔兰守护神节),更没有情绪与那些在细条子衣服上缀着绿色饰物的假扮的爱尔兰人一起痛饮狂欢。在心灰意冷的怨怒中,他只想一个人默默地喝啤酒。斯坦福大学的教授威廉·布赖恩·阿瑟,这个北爱尔兰贝尔法斯特土生土长的儿子,心情正处于低谷。

而这一天开始时却是那么美好。

这正是所有的嘲讽之所在。那天早上,当他出发去柏克莱的时候,他本来期望此行会是一个胜利的团聚:柏克莱的小伙子干得不错。他真是十分怀念七十年代初他在柏克莱的那段岁月。坐落在奥克兰北边的山坡上,与旧金山市隔着海湾相望的柏克莱,是个充满进取精神、生机勃勃的地方,那儿到处都是各色人种,大街上人声鼎沸,洋溢着过激的思想。他在柏克莱获得加州大学博士学位。在那里,他与读统计学的博士生,高挑、金发的苏珊·彼得森相识并结了婚;他还在柏克莱的经济系做了第一年的博士后。在他的感情里,在他所有生活和工作过的地方,只有柏克莱是他的家园。

好吧,现在他是要回家了,有几分像那么回事吧。这事儿本身倒没什么重要,只是和柏克莱大学经济系主任及系里以前教过他的几位教授吃顿午饭。然而,此行将是他这些年来第一次重返柏克莱经济系,当然也是他第一次觉得自己能在学术上和他的老师们平起平坐。他已经积累了在世界各地工作十二年的经验,是一个主要在第三世界国家人口出生率方面享有盛誉的学者。他这次是以斯坦福大学经济系教授的身份重返母校——这是极少被授予五十岁以下的人的位置。而他年仅四十一岁就载誉而归。而且谁知道呢?说不定柏克莱的人会谈起请他回来工作呢。

是的，那天早上他真是自视甚高。为什么几年前他不跟从经济学的主流，而去尝试构想一个对经济学的全新探索呢？为什么他不打有把握之仗，而要掺和到那些模糊不清的、半想象式的科学革命中去呢？

只因为他没有办法把这些想法从他的脑袋里驱逐出去，这就是唯一的原因。因为他无处不能看到它的存在。然而在大多数情况下，科学家们自己似乎完全认识不到这一点。但在花了几百年的时间把所有的东西拆解成分子、原子、核子和夸克后，他们最终像是在开始把这个程序重新颠倒过来。他们开始研究这些东西是如何融合在一起，形成一个复杂的整体，而不再去把它们拆解为尽可能简单的东西来分析。

他可以看到这种情形发生在生物学领域。生物学家们花费了近二十年时间来揭示脱氧核糖核酸的分子机制，以及蛋白和细胞中其它元素的机制。目前他们已经开始探索一个最根本的奥秘：上千万亿这样的分子是怎样使自己组合成一个能够移动、反馈和繁殖的整体？亦即一个有生命的物体的呢？

他可以看到这种情况发生在脑科学研究领域。神经学方面的科学家、心理学家、计算机专家和人工智能研究人员们正努力想弄明白心智的本质：我们头颅里几十亿个稠密而相互关联的神经细胞是如何产生感情、思想、目的和意识的？

他甚至可以看到这种情况也正发生在物理学领域：物理学家们正在努力建立混沌的数学理论，无数碎片形成的复杂美感、以及固体和液体内部的怪诞运动。这里面蕴藏了一个深奥的谜：为什么受简单规律支配的简单粒子有时会产生令人震惊的、完全无法预测的行为？为什么简单的粒子会自动地将自己组成像星球、银河、雪片、飓风这样的复杂结构——好像在服从一种对组织和秩序的隐匿的向往？

这些迹象无所不在。阿瑟还不太能够把他的这种感觉用语言表达出来。据他所知，至今也还没有人能够说得清楚。但不知怎的，他却能感觉到这些问题其实都是同一类的问题。老的科学分类正开始解体，一个全新的、整合为一体的科学正期待着诞生。阿瑟相信，这将是一门严谨的科学，就像一直以来的物理学那样“坚实”，那样完全建立在自然法则之上。但这门科学将不是一个对最基本的粒子的探索，而是对关于流通、变迁，以及模型的形成和解体的探索。这门科学将会对事物的个性和历史的偶然性有所探究，而不再对整体之外的和不可预测的事

物忽略不见。这不是关于简单性的科学，而是关于，嗯，关于复杂性的科学。

这正是阿瑟的新的经济学观点的切入点。他在学校所学的常规经济学，与这个复杂的视角相差有如天壤之别。理论经济学家们无休止地讨论市场稳定和供求均衡，还把这个概念用数学等式表达出来、并证实其定理。他们就像信奉国教一样把亚当·斯密的信条奉为经济学的基础。但当他们面对经济中的不稳定状况和变化——嗯，这念头本身就使他们感到十分困扰，避之不及。

但阿瑟却已经正视这种经济的不稳定性。他告诉他的同事们，留神看看窗外吧。无论你喜欢也好、不喜欢也罢，市场是不稳定的，这个世界是不稳定的，它充满了进化、动荡和令人吃惊的事情。经济学必须将这些动荡囊括其内。现在，他相信他已经发现了能够使经济学做到这一点的方法，用一个叫做“报酬递增率”(increasing returns)的原则，或用詹姆士国王的一句译文“拥有者被施予”(To them that shall be given)来表述。为什么高科技公司都竞相蜂拥到斯坦福附近的硅谷安营扎寨，而不设在安·阿泊或柏克莱？因为许多老的高科技公司已经设在那里了。即，拥有者获得。为什么 VHS 电视录像系统占据了市场，虽然从技术上来说 Beta 还略胜它一筹？因为早些时候已经有一些人凑巧买了 VHS 系统的产品，这就导致了录像店里出现了更多的 VHS 录像带，反过来又导致了更多的人买 VHS 录放像机，以此类推。拥有者获得。

这样的例子不胜枚举。阿瑟确信，报酬递增率指出了经济学未来的发展方向。在未来的经济学里，他和他的经济学同事们将和物理学家、生物学家们共同致力于对这个杂乱无序、充满剧变、自发自组的世界的理解。他确信，报酬递增率将会成为一个全新的、截然不同的经济学的基础。

但是很不幸，他运气不佳，没能让其他人相信他的报酬递增率。在斯坦福大学他的圈子之外，大多数经济学家都觉得他的想法很离奇古怪。经济学专业刊物的主编们告诉他，他的关于报酬递增率的讨论“不是经济学”。在学术讨论会上，很多听众十分愤怒：你竟敢说经济不是均衡的！这些猛烈的攻势使阿瑟深深领教了挫败感。他显然需要同盟者，需要能够敞开思想、听他说话的人。这个愿望和他所有想回家的念头一起，成为他重返柏克莱的理由。

所以他们就都坐在学部的俱乐部里吃三明治。汤姆·罗森堡 (Tom Rothenberg)，曾经教过他的教授之一，就免不了问他这样的问题：“告诉我，布

赖恩，你这一向都在研究些什么？”“报酬递增率。”阿瑟给了他一个短促的回答，作为这个话题的开头。经济系主任阿·菲什洛(Al Fishlow)面无表情地看着他。

“但据我们所知，报酬递增率并不存在。”

“而且，即使它存在，我们也不得不宣布它不合法。”罗森堡笑嘻嘻地抢过来说。

然后他们就都笑了，并不是恶意的，只是自己人之间开个玩笑。这只是件无关紧要的小事。但这笑声不知怎地却整个儿粉碎了阿瑟虚幻的期望。他呆坐在那儿，在这一打击下噤不能言。这是两位他最敬重的经济学家，但他们根本不听他说话。阿瑟突然感到自己既天真又愚蠢，像一个因为知之甚少，所以才会相信报酬递增率的雏鸡。柏克莱之行粉碎了他最后的希望。

在接下来的午餐中，他几乎再没有注意到别的事情。当午餐结束，大家礼貌地互告再见以后，他钻进他那部老旧的富豪车，经海湾大桥开回了旧金山市。他在第一个出口下道，驶往英巴卡德罗，在他看到的第一家酒店门口停了下来。他走进了这家酒店，在四周点缀着蕨类植物的环境中开始认真地考虑是否要整个儿地放弃经济学。

当他差不多快喝完第二杯啤酒的时候，他发现这家酒店已经开始变得非常嘈杂了。那些雅皮士们正来到这儿大举庆祝爱尔兰守护神的节日。嗯，也许该是回家的时候了。在这里坐下去肯定不会有任何结果。于是他站起来，走出了门，钻进他的车里。濛濛细雨仍在不停地下着。

他在佩罗·阿尔脱的家，是旧金山市南三十五英里处靠近斯坦福的一所郊区公寓。当他终于将车开进家门前的车道时，已经是日落时分了。他肯定是弄出了一些响声，他的妻子苏珊打开了前门，看着他穿越草坪：这是一个瘦长的、头发过早灰白的男人，看上去衣衫不整，极其疲惫厌倦，一如他目前的心情。

“嗨，柏克莱之行怎么样？他们喜欢你的主张吗？”她站在门口问。

“糟糕透了。没人相信报酬递增率。”阿瑟答。

苏珊·阿瑟以前已经见过她的丈夫从学术论战中惨败而归的情景。“嗯，我猜如果每个人一开始就都相信它，那就不会是一场革命了，是吗？”她尽力找安慰的话来说。

阿瑟看着她，在那一天里第二次被震得哑口无言。旋即他就无法自控地大笑

了起来。

一个科学家的教育

布赖恩·阿瑟操着贝尔法斯特人特有的柔软的升调说，在贝尔法斯特，当你做为一个天主教徒长大以后，一种叛逆的精神自然而然地在你的性格中形成了。这并不是因为他确切地感到过被压迫。他父亲是个银行经理，他的家庭是个地道的中产阶级家庭。他亲身被卷入的唯一的一起宗派事件发生在一个下午，当他穿着教会学校的校服往家走的时候，一伙信基督教的男孩子向他扔砖头和石块。有一块砖头击中了他的前额。（当时前额上的血流进了他的双眼，挡住了他的视线——但他狠狠把那块砖头扔了回去。）可他并不认为基督教徒真的就是魔鬼。他的母亲就曾经是基督教徒，与他父亲结婚后改信天主教。他也从来没感到自己特别具有政治色彩。他的兴趣更倾向于思想和哲学。

然而，叛逆的精神却仍然像是从空气中渗入了他的性格。“爱尔兰文化并不教你去领导，而是教你暗中破坏。”他说。看看爱尔兰人都崇拜些什么人：沃尔夫·托恩、罗伯特·埃米特、丹尼尔·奥康纳尔、佩德雷克·珀斯。“所有的爱尔兰英雄都是革命者。而最高形式的英雄主义是领导一个绝无希望取得胜利的革命，然后在你被绞死的前夜，在审判席上发表你一生中最伟大的演说。”

“在爱尔兰，服从权威的号召从来就不起作用。”

他说，正是爱尔兰人的反叛特色以一种奇怪的方式使他开始了自己的学术生涯。贝尔法斯特的天主教徒具有极为轻蔑知识分子的倾向。所以嘛，他自己当然就偏要成为一个知识分子。事实上，他记得早在四岁时，在他远不知道何为科学家之前，就想当一个“科学家”了。只因为当一个科学家的想法有着妙不可言的诱惑力和神秘感。但是，如果年轻的布赖恩仅仅只有这样的想法，而没有这样的决心，也是当不成科学家的。他在学校读书时，从一开始学工程、物理和严格的数学起就投入了进去。1966年，他在贝尔法斯特的皇后大学(Queen's University in Belfast)获得了机电工程专业的头等奖。他母亲说：“啊，我想你最终会在哪儿当个小教授的。”其实他母亲很为他感到骄傲。在这个家族里她这一辈的人当中还没有人读到过大学呢。

1966 年，这同样的决心又引他跨过了爱尔兰海峡，来到了英格兰的兰卡斯特大学(the University of Lancaster)，开始攻读运筹学(operations research)这门数学性非常强的研究生课程——这门工科课程基本上是一套计算技巧，计算如何让一个工厂以最少的投入获得最大的产出，或计算如何保持对一架遭到意外打击的战斗机的控制。“那时，英国的工业状况很糟糕。我想，也许我们能用科学重组工业，解决眼下的问题。”阿瑟说。

1967 年，当他发现兰卡斯特大学的教授们全都愚蠢、堕落到令他难以忍受——“有一个爱尔兰人来我们系不错嘛，这给我们增加了点儿色彩。”阿瑟尽力模仿着乏味而势利眼的英国人的腔调说——他离开了那儿，去了美国安·阿泊的密执安大学。阿瑟说：“我一踏足美国就感到像回到了家。那是六十年代，那儿的人很开放，文化也很开放，美国的科学教育是世界一流的。在美国，好像一切都是可能的。”

但不幸的是，在安·阿泊有一件事是不可能的，那就是，那个地方不直接通向阿瑟喜爱的山和海。所以从 1969 年秋季开始，阿瑟转学到柏克莱做博士学位。为了获取支撑他读完学业的钱，他在转入柏克莱之前的夏天，向世界上最优秀的一家管理咨询公司之一，麦肯锡公司(McKinsey)申请了一份暑期工作。

他的运气好得不可思议。阿瑟直到后来才意识到他有多么幸运。人们你争我抢地想受雇于麦肯锡公司，而公司却看中了他的运筹学背景和他懂德语。他们需要派人到杜塞尔道夫分公司去工作，问他是否有兴趣。

他有兴趣吗？这是阿瑟一生的黄金机遇。他上一次去德国时，干的是一份每小时七十五美分的暑期蓝领工作，这次他又到了德国，才二十三岁，去指教巴斯夫(BASF)的董事会成员们如何解决石油部门和煤气部门的问题，或如何经营价值几亿美元的化肥公司。“我从中得知，最上层的管理其实就像最下层的管理一样简单。”他笑着说。

但麦肯锡不仅仅只是为他个人镀了一层金。麦肯锡基本上是个出售当代美国管理技术的公司（这个概念在 1969 年听起来并不像十五年后听起来那么奇怪）。阿瑟说：“当时欧洲公司的特点是，每个大公司都拥有上百个下属分支。他们甚至搞不清自己都拥有什么。”阿瑟发现自己非常有兴趣深入到这一类混乱无序的问题之中去，获取形成这些问题的第一手资料。“麦肯锡确实是世界一流的。

他们并不是在兜售理论，也不是在兜售什么时髦的玩艺儿。他们解决问题的办法是完全卷入到错综复杂的情况中，就生活于其中，切身地感受它。麦肯锡派出的班子通常会在一家公司一呆就是五六个月，甚至更长时间，研究一系列极其复杂的情况和相互间的关系，直到把其中的模式摸得一清二楚为止。然后我们所有的人就都围坐到办公桌边，有人就会说：‘这事肯定会是这样的，因为什么什么原因。’另一个人就会说：‘如果这事是这样的，那么那件事的结果肯定会是那样的。’然后我们就走出办公室去核对。也许一个地方分支的总经理会说：‘嗯，你们基本上是对的，但你们遗漏了这一点或那一点。’所以我们又要花费好几个月的时间一次次地澄清问题，直到完全搞清楚为止。解决问题的答案便在这个过程中自然产生了。”

没过多久阿瑟就认识到，当他面对复杂的真实世界时，他在学校里花费了那么多时间掌握的漂亮的方程式和花哨的数学仅仅是工具——而且是很有限的工具。最重要的是一个人的洞察力，看到事物之间相互联系的能力。不无讽刺的是，正是这种认识把他引向了经济学。他还清楚地记得当时的情形。那是在他就要离开麦肯锡去柏克莱之前。有一天晚上，他和他的美国老板乔治·陶切开车行驶在德国西部的鲁尔河谷，那是德国的工业中心。在行车途中，陶切开始谈起他们经手过的每个公司的历史——哪个公司把什么东西拥有了一百年，整件事是如何有机地、历史地发展起

来的。这对阿瑟来讲是一次新的发现。“我突然意识到，这就是经济学。”如果他想了解这个如此强烈地吸引着他的混乱无序的世界，如果他真想真正改变人们的生活，那他就必须去学经济学。

所以，阿瑟在那个夏天以后，带着高涨的求知欲，奔赴柏克莱。在对经济学一无所知的情况下，他宣称经济学正是他所想学的。

其实，他并不想这么晚了再来重新改换门庭。在密执安大学，他已经修完了大部分运筹学的博士课程，剩下的只是完成博士论文了。每个博士候选人都得完成具有自己独创性研究的大部头博士论文，以证明他或她已经掌握了这门技巧。但阿瑟还有充分的时间来写论文：加州大学坚持他必须在柏克莱住满三年，以符合读博士学位的年限要求。所以阿瑟被允许用他的富裕时间选修所有他能够上的经济学课程。

于是他就这么做了。“但麦肯锡的经历却使我对经济学大为失望。在这里，完全没有在鲁尔河谷时那样强烈地吸引了我的历史感。”他说。在柏克莱的教室里，经济学就像是纯数学的一个分支。作为经济学基础理论而著称的“新古典”经济学，已经把这个多姿多彩而又错综复杂的世界简化成了用几页纸就能写尽的一系列狭隘、抽象的法则。所有的教科书都充满了数学等式。最优秀的年轻经济学家们好像都在把自己的学术生涯献给对一个个定理的证明，而不顾这些定理和现实世界是否有任何关系。阿瑟说：“经济学如此重视数学使我感到非常吃惊。对我这个来自应用数学领域的人来说，定理是一个永久不变的数学真理的声明——而不是用许多公式来包装打扮对琐事的观察结果。”

他无法不感到经济学理论过于简化了。不，他反对的并不是数学的严谨。他喜欢数学。在费时数年来学习电机工程和运筹学之后，他的数学功底要比他的大多数经济学同窗强得多。不，困扰他的是经济学的不可理喻的非现实性。计量经济学家们如此成功地把他们的学科转变成了假扮的物理学，在他们的理论中，人类所有的弱点和激情都被滤去了。他们的理论把具有动物本能的人描绘成了像粒子那样的东西：“经济人”，像神一样的存在物。这些存在物的理性思维永远是完美无缺的，永远是冷静地追求可以预测的自我利益。就像一个物理学家可以预测一个粒子对任何一组特定的力会作出何种反应那样，经济学家也可以预测经济人会对什么样的特定经济形势作出何种反应：他（或它）会正好把自己的“实用功能”发挥到极致。

同样，新古典经济学把经济状况描绘成永远处于完美的均衡之中，供总是正好等于求，股票市场永远不被疯癫和狂泻所覆没，任何一家公司都不会强大到能够垄断市场，十全十美的自由市场的魔术总是能够把经济效益发挥到最大值。没有比这种观点更能使阿瑟想到十八世纪的启蒙运动了。启蒙运动时期的哲学家们把宇宙看成是艾萨卡·牛顿完美运行定律下的一种巨大的、精确有如时钟的装置。唯一的区别是，经济学家们似乎把人类社会看成是在亚当·斯密那只看不见的手操纵下的一个上足了润滑油的机器。

他就是无法苟同这样的观点，即便自由经济妙不可言，亚当·斯密是个绝顶聪明的人。而且公平地说，新古典经济学的理论家们已经在基本的经济模式上发展出了各种详尽的阐述，以涵盖诸如前景的不稳定性和财产继承这类的事。他们

已经使经济学的基本理论适应于税收、垄断、国际贸易、就业、金融、货币政策——举凡经济学家们能想到的一切。但所有这些都没有改变最根本的假设。经济学理论仍然无法描述出阿瑟在鲁尔河谷所见到的人类世界的混乱无序性和非理性——或者，像他每天都可以在柏克莱的大街上见到的那些情形。

阿瑟并没有让这些想法烂在自己心里。“我想，因为我很强烈地流露出对定理的不耐烦和想学习真正的经济学的意图，所以惹恼了好几位教授。”他说。而且他知道并不是只有他持有这样的看法。他在参加经济学会时时常能在会议室的过道上听到有类似的牢骚。

然而，他的另一部分天性却发现新古典经济学自有美妙得令人窒息之处。新古典经济学知识作为一门绝妙的技艺，能与牛顿和爱因斯坦的物理学相提并论。新古典经济学的严格性、清晰性和准确性使得有着数学家天性的阿瑟无法不大为赞叹。而且他也可以理解，为什么前辈经济学家会那么热衷于它。在上一代经济学家开始崭露头角时，经济学还处于十分糟糕的状况。他曾经听到过那些骇人听闻的故事。在三十年代，英国的经济学家约翰·梅纳德·凯恩斯（John Maynard Keynes）说，你可以让五个经济学家串在一个房间里而得出六种不同的结论。从各方面的报道来看，他这么说还算是客气的。三十年代和四十年代的经济学家长于观察，但在逻辑思辨上显得略微逊色。甚至即使他们的逻辑思维也很强，你仍然会发现他们会在同一个问题上得出非常不同的结论：原来他们是从不同的、未经阐述的假设来探讨问题。所以在那些与政府政策或商业循环理论有关的重大问题上，都会爆发不同派系之间的学术论战。在四十年代和五十年代，掌握了数学理论的经济学家是他们那个时代的少壮派。他们是一群自命不凡的家伙，决心要清除经济学的马厩牛圈，使经济学变成像物理学那样严格精确的一门科学。他们成就非凡，近乎达到了目的。取得了这一巨大成功的少壮派们——他们中间有斯坦福的肯尼思·埃罗、麻省理工的保尔·塞缪尔森（Paul Samuelson）、柏克莱的杰拉德·德布诺（Gerard Debreu）、罗切斯特的特加林·库珀曼斯（Tjalling Koopmans）和莱昂内尔·麦肯奇（Lionel McKenzie）——他们理所当然地成为伟大的老人，新的法典。

另外，如果你想学经济学——阿瑟仍然决定要学——还有什么其它理论可供选择呢？马克思主义经济学？喂，这儿是柏克莱，卡尔·马克思当然还是有跟随

者的，但阿瑟不是其中之一。在阿瑟看来，能够被科学预测到的社会各个发展阶段中的阶级斗争进程这些玩艺儿明摆着是愚蠢的。不，就像某个赌徒曾经说过的那样，这游戏也许是个骗局，但这是全城唯一的游戏。所以他只能继续修他的经济学课程，决心要掌握这个并不让他十分信服的理论工具。

当然，在这段时间里，阿瑟也一直在撰写关于运筹学研究方面的博士论文。他的导师、数学家斯图亚特·德莱弗斯 (Stuart Dreyfus)，是一个很出色的老师，而且是一个和他相同的人。阿瑟记得 1969 年他刚到柏克莱不久去德莱弗斯办公室做自我介绍时，碰到一个蓄着长发和胡子的研究生刚好从里面出来。阿瑟问他：“我在找德莱弗斯教授，你能告诉我他什么时候能回来吗？”

“我就是德莱弗斯。”那研究生说。他的实际年龄在四十岁左右。

德莱弗斯强化了阿瑟在麦肯锡所学到的知识，并给他提供了很有效用的经济学课程解毒剂。阿瑟说：“德莱弗斯相信直接深入到问题核心的做法。他教我一直简化问题，直到你认为你可以对付得了它为止，而不是一上来就解答复杂得令人难以置信的方程式。他让你找出构成了这个问题的因素，找到关键所在，找到主要的部分和主要的解答办法。”德莱弗斯不会让他为了数学而陶醉在花哨漂亮的数学公式里。

阿瑟对德莱弗斯的指导心领神会。“他的方法既好也不好。”阿瑟有点伤心地说。如果他在后来把他的报酬递增率用厚厚的数学公式包装起来，也许更能使那些传统经济学家们接受。其实他的同事也都劝他这么做，可他就是不愿意。他说：“我想把它阐述得尽可能的平铺直叙、简练明了。”

1970 年，阿瑟又回到了杜塞尔道夫，在麦肯锡公司度过了他的第二个夏天。他发现这次就像第一次一样吸引他。有时他想，他是不是应该一直与麦肯锡公司保持联系，等他毕业后来这里做一个最高档次的国际管理咨询专家，那他就可以过上非常豪华的生活了。

但他没有这样做。他发现自己已经被经济学领域中的一个比欧洲工业问题还要混乱无章的研究课题，即第三世界人口增长问题给吸引住了。

当然，这个研究课题使他有来往于火奴鲁鲁东西方人口研究所从事研究，这对他也没有什么不好。他在那里还保留了一块冲浪板，可以随时去海边冲浪。但他对人口问题的研究还是很认真的。那是七十年代初，人口问题正赫然耸

立于世人面前。斯坦福的生物学家保罗·厄里奇 (Paul Ehrlich) 刚刚出版了他的启示性畅销书《人口炸弹》。

第三世界那些曾经是殖民地的新独立国家正在为取得经济生存力而奋斗。西方经济学家们则提出了一个又一个的如何帮助这些国家的理论。那时，最普遍而标准的提议是强调经济决定论：为取得人口的最适条件，一个国家所要做的是给予它的人民适当的经济刺激，以控制他们的生育，这样他们就会自动地、理性地做合乎他们自己利益的事。特别是，许多经济学者提出，如果，或当一个国家变成了一个现代化的工业国——当然是按照西方的模式建成的——这个国家的公民自然就会经历一个“人口数量上的变迁”，他们会自动降低他们的生育能力，以与欧洲国家盛行的人口生育模式相匹配。

但阿瑟相信，他对这个问题的研究有一个更好的角度，或起码是更高明的角度：从“时间延宕”的角度来分析人口控制问题，这也是他博士论文的题目。他说：“问题在时间上，如果一个政府今天设法减少了出生率，那么十年以后就会影响到学校的大小和多少，二十年以后就会影响到国家的劳动力，三十年以后就会影响到下一代的人口，六十年以后就会影响到退休的人数。”从数学上说，这十分像试图控制远在太阳系之外的宇宙飞船，而指令需要几小时才能到达那儿；或像调节你的淋浴喷头的水温，在你调节喷头与热水淋到你身上之间有半分钟的延宕。如果你不把这段延宕的时间适当地计算在内，你就会被烫伤。

1973 年，阿瑟把他对人口问题的分析写进了他博士论文的最后一章：这是一部充满了数学公式的大部头书，题目是：“动态规划在时间延宕控制理论中的应用”(Dynamic Programming as Applied to Time-Delayed Control Theory)。

“这是从一个很工程化的角度对人口问题的研究，里面尽是数字。”阿瑟不无后悔地回顾道。尽管他有在麦肯锡工作的经验，得到过德莱弗斯的指教，对过分数学化的经济学也有种种不耐烦，但他仍然首先感到把他引向运筹学研究的那种冲动：让我们用科学和数学来使这个社会理性地运转。“发展经济学领域的大多数人都抱有这种态度。他们是这个世纪的传教士，只是他们不是想把基督教带给异教徒，而是试图把经济发展带给第三世界。”

使他受到震动，把他带回到现实中来的是他去纽约的一个小型智囊机构——人口委员会工作这件事。1974 年，在他完成了博士学位，并在柏克莱的经济系

做了一年博士后研究以后，就来到了这个人口委员会。就这个人口委员会的地理位置而言，它离第三世界未免过于遥远了：它在公园大道的一座大厦里，主席是约翰·洛克菲勒三世。但这个委员会确实认真地资助了对避孕、计划生育和经济发展等项目的研究。从阿瑟的观点来看，最重要的是，这个委员会会有一个尽可能地让研究人员从他们的办公桌前走出去，走到研究项目现场的政策。

委员会的主任会问：“布赖恩，你对孟加拉国的人口和发展知道多少？”

“很少。”

“你想去了解这些情况吗？”

孟加拉国之行对阿瑟来说是个学术上的分水岭。1975年，他和人口统计学者杰弗里·麦克尼考(Geoffrey McNicoll)一起去了那里。澳大利亚人杰弗里·麦克尼考是他在柏克莱做研究生时的同学，但更重要的是，是他把阿瑟引入了人口委员会。他们搭乘了在政变后第一架被允许进入孟加拉境内的飞机到达了那里。飞机着陆的时候他们还能听见机关枪的扫射声。此后他们去了乡村。在那里，他们就像做调查访问的记者。“我们和村里的头人谈，和村里的妇女谈，和所有的人谈。我们不断地访问，想弄明白孟加拉国的农村社会是怎样运转的。”他们尤其想弄清楚的是，为什么甚至在免费为村民们提供现代化的生育控制措施以后，农村的家庭仍要平均每家生七个孩子——而且村民们对他们的国家因为人口过多而经济停滞的情况似乎完全清楚。

阿瑟说：“我们发现，孟加拉的可怕困境，是村民的个人利益和群体利益之间的关系导致的结果。”对任何一个农村家庭来说，既然孩子很小就可以开始干活，尽可能地多生孩子就可以带来很大的好处。由于一个没有防御能力的寡妇，其亲戚和邻居很可能登门来把她的财产拿走。所以一个年轻的妻子为了自己的利益就要尽可能多、尽可能早地生儿子，这样等到她老了的时候就有已经成年了的儿子来保护她。所以就有这样的话：“族长们、竭力抓住丈夫的女人们和农业社会——所有这些利益合起来造成了多生孩子阻碍发展的现象。”

在孟加拉国呆了六个星期以后，阿瑟和麦克尼考回到了美国，在消化了在孟加拉取得的信息和资料之后，他们在《人类学和社会学杂志》上发表了调查报告。阿瑟返美后落脚的第一站就是柏克莱，他到那里的经济系翻阅一些参考资料。他记得当他在经济系时，凑巧翻看了系里最新近的经济课程表。那上面几

乎还是他很久以前学的那些课程。“但我突然有一种很奇怪的印象，好像我与经济学中心有过一段距离，经济学在我离开的这一年里发生了变化。然后我又明白了真相：经济学并没有发生变化。发生了变化的是我自己。”他说。孟加拉之行以后，所有这些他花费了大量精力掌握了的新古典经济学在他眼里变得毫不相干了。“我突然感到一种全面的轻松。就像从身上卸下了一副重担。我再也不用非要相信新古典经济学了！我感到了一种极大的自由。”

阿瑟和麦克尼考合写了一份八十页的调查研究报告，发表于1978年，成了社会科学方面的经典之作——而且立刻遭到孟加拉国政府的禁止。（两位作者指出，孟加拉政府对首都之外的广大农村基本上失去控制，这片地区基本上是被封建教父们所控制的。这使首都达卡的上层深感恼火。）但无论如何，人口委员会派到叙利亚和科威特的其他调研人员回来后只证实和加强了他和麦克尼考的观点：从数量学和工程化的角度来探讨第三世界人口问题——人类会像机器一样对抽象的经济刺激做出反应的观点——至多只是个极其有限的方案。经济学，就像任何历史学家和人类学家可以告诉人们的那样，是与政治和文化紧紧纠缠在一起的。这个教训也许是很浅显的，但阿瑟说：“我却费了那么大的力气才懂得了它。”

这个深刻的发现使他对想找到一个对人类生育问题的普遍的、决定性的理论不再抱任何希望。他开始把生育问题看作是在特定的社会习俗、神话和道德惯例下形成的、具有自我连贯性的特有形式的一个部分。而且，每一种文化都有不同的特有形式。“你可以在一个国家衡量像收入和生育这样的事，而在另一个国家却发现既有可以用同种标准衡量的文化，也有完全不能用同种标准衡量的文化。它们是不同的特有形式。”所有的事都是相互缠结在一起的，没有一个谜是可以脱离其它因素得到解答的。孩子的数量与社会的组成是有着相互关联的，社会的组成方式与这个社会中的家庭生育孩子的数目也有极大的关系。

特有形式。阿瑟认识上的这一飞跃使他发现，特有形式的概念与他脑海里的某种东西产生了共鸣。他这一生一直都被特有形式所强烈诱惑。在飞机上，如果可以让他的话，他总是要坐在靠窗口的座位，这样他就可以从窗口看到飞机下面不断变化的景色。无论在哪里，他总是会见同样的东西：石头、泥土、冰、云彩等等。这些东西会组合成一种别具特色的地貌，也许会连绵延伸半个小时。“所以我就问自己一个问题：为什么会有这样特有的地貌形式？为什么会有某种

石头形状和蜿蜒而流的河流组成的特有地貌，而在半小时以后又有了一种完全不同的地貌？”

但现在他目之所及皆是各种特有形式。比如 1977 年，他离开了人口委员会，去了一个被称为国际应用系统分析研究所（IIASA）的由美苏合作的智囊机构。这个机构是勃列日涅夫和尼克松作为缓和的象征而创建的。研究所坐落在距维也纳十英里外的一个小村子里，是一座具有卢森堡玛利亚·特丽萨十八世纪建筑风格的华丽的“狩猎居”。阿瑟很快就弄清楚了，这里离泰若岭（Tyrole）阿尔卑斯山的滑雪斜坡仅咫尺之遥。

“给我留下深刻印象的是，如果你走进那儿的阿尔卑斯山山脉的村子里，你会看到那些装饰华丽的泰若岭式的屋顶、栏杆和阳台，屋顶上很有特色的沥青。很有特色的三角形拱顶和窗子上很有特色的百叶帘。但我没有把这看作是一幅很美的拼插玩具的图画，而是看到，这村子里没有一部分是无目的性的，没有一部分不是与其它部分相关的。房顶上刷上了沥青是为了冬天能在屋顶存住适量的雪以隔离严寒，伸延出阳台的三角形屋顶的椽檐是用来防止雪落到阳台上来的。所以我曾饶有兴味地看着这些村庄自忖，这部分这样组成是为了这样的目的，那部分那样组成是为了那样的目的，而所有这些部分都是互为关联的。”

他说，给他留下了同样深刻印象的是，当他越过意大利边境到了多罗米克阿尔卑斯山脉这一侧时，村庄的风格就完全不是泰若岭式的了。没有一样你可以指出来是你在泰若岭见过的。仅仅是因为无数细节的改变，便组成了完全不同的整体。然而意大利的村民们和奥地利的村民们面对的基本上是同样的落雪的问题。“我多少次地想，两种不同的文化产生了两种全然不同的、但都具有自我连贯性的特有形式。”

海边的顿悟

阿瑟说，每个人都有自己的研究方式。如果你把所研究的问题看做是一个中世纪的城堡，四周都围着城墙，那么，许多人的研究方式都是像一只斗架的公羊一样向城堡径直发起攻势。他们会疯狂地直扑城门，尽自己全部的知识力量和聪明才智去摧毁防御工事。

但阿瑟从来没有感到用斗架公羊式的方式来攻克难题是他的强项。他说：“我喜欢先沉思良久。我只是在城外扎营，等待着、思考着，直到有一天——也许在我转向对一个完全不同的问题研究的时候——城门的吊桥突然就放了下来，守城的人说：‘我们投降。’解题的答案一下子就呈现在你面前了。”

这正是他对报酬递增率经济学研究的情形。“报酬递增率”，他后来这样称谓他对经济学的这一思考。当时他已经在城外驻扎了相当长的一段时间。他的麦肯锡、孟加拉之行、他对常规经济学的全面失望、以及他对特有形式的发现，这些都是思考和等待，而不是确切的答案。他至今对城门的吊桥向他放下的时刻还记忆犹新。

那是在 1979 年的 4 月，当时他的妻子苏珊刚完成统计学博士论文，感到筋疲力尽，所以阿瑟就为自己安排了一个为期八周的大学年假，这样他就能离开国际应用系统分析研究所，和妻子一起到夏威夷去好好休整一番。对他来说，这次夏威夷之行是一个半工作半休息的假期。他每天从早上九点到下午三点都在东西方人口研究所撰写研究论文，苏珊则在家继续睡她的觉——她每天足睡十五个小时。到接近傍晚的时候，他们就会开车去欧湖北边的火鲁海滩，那是一小片被废弃的沙滩。他们在那儿冲浪，或躺在沙滩上喝啤酒、吃奶酪、读书。就在他们刚到夏威夷没多久的一个慵懒的下午，就在那片沙滩上，阿瑟翻开了随身带来、就是准备在沙滩上看的一本书，霍拉斯·弗里兰·加德森(Horace Freeland Judson)的《创世第八天》(The Eighth Day of Creation)。这是一本六百页的分子生物学历史巨著。

“我被这本书给迷住了。”他回忆说。他读到 1952 年詹姆士·华生(James Watson)和弗朗西斯·克拉克(Francis Crick)如何发现了双螺旋线结构的 DNA、读到五十年代和六十年代，人们怎样解开了基因码、读到科学家如何一步步译解了蛋白和酶的复杂螺旋结构。阿瑟身为实验室的常败将军(他说：“我在所有实验室里都过得暗无天日。”)，还读到了分子生物学家们为建立分子生物学这门科学所进行的无计其数的实验、所付出的艰苦卓绝的劳动：他们为回答问题必须做各种各样的实验，为安排每一项实验和置办设备要耗费数月数月的时间，尝尽了实验结果出来后带来的胜利和沮丧的滋味。“加德森能把科学的戏剧性活画出来。”

但真正激发了他的是，这本书让他认识到，整个分子生

物领域是个混乱无序的世界——活细胞的内部世界，至少也像混乱无序的人类社会一样复杂。然而这就是科学。他说：“我发现自己以前对生物学的认识是非常幼稚的。当你受过我这样的训练，受过数学、工程学和经济学的训练，你也会倾向于把科学看成一种非得是用定理和数学表现的东西。但只要把视线一移向窗外的生活、移向生物体和自然界，我不知怎么就会觉得，科学变得无能为力了。你如何为一棵树或一个草履虫写数学等式？你没法写。在我原先含糊不清的概念里，生物化学和分子生物学只不过是些关于这类分子和那类分子的分类。这些分类无法帮助你弄明白任何问题。”

这是错误的认识。加德森用他书中的每一页向阿瑟证明，生物学是像物理学一样的科学。这个混乱无序的、有机的、非机械的生物世界实际上是遵循一定的法则运行的。这些法则就像牛顿的物体运动定律一样深奥、一样意义深远。在每一个活细胞里，都有一串长长的、螺旋线形的 DNA 分子，即一系列化学译解的指示和基因。它们共同组成了对细胞的基因蓝图。一个生物体和另一个生物体的基因蓝图也许全然不同，但这两个生物体所用的基因码却基本上是一样的。而且这两个生物体里的基因码会被同一种分子解码机制译解。基因蓝图会在同样的分子工作室里变成蛋白、粘膜和其它细胞结构。

对这个地球上所有生命形式的联想给阿瑟带来了新的启迪。在分子这个层面上，所有的活细胞都惊人地相似，它们的基本机制具有普遍的意义。但在整幅基因蓝图中，哪怕有一个微乎其微的变化，就足以给整个生物体带来巨大的变化。这儿或那儿很少几个分子的移动也许就足以产生棕色眼睛和蓝色眼睛之间的区别、产生体操运动员和相扑运动员之间、健康的身体和镰形血球性贫血之间的区别。而更多一些分子的移动，在经过千百万年自然选择的积累之后，也许会产生人类和黑猩猩之间、无花果和仙人掌之间、阿米巴变形虫与鲸鱼之间的区别。阿瑟认识到，在生物世界里，很小的机会能被扩大、利用和积累。一个小小的偶然事件能够改变整个事情的结局。生命是不断发展的，生命有它的历史。他想，也许这就是为什么生物世界显得如此具有自发性和有机性。对了，这个世界是有生命的。

这些又使他想到，也许这就是为什么经济学家们想象的完美均衡的世界总是

使他感到僵化、机械、死气沉沉的原因。在经济学家的世界里，不会发生多少意外事件。而且，市场上发生的小小变化即使出现也会迅即消失。阿瑟无法想象还有什么理论比这更不符合真实的经济状况了。在真实的经济生活中，新产品、新技术、新市场会不断涌现，老产品、老技术、老市场会不断消失。真实的经济生活不是机器，而是一个有生命的系统，这个有生命的系统就像加德森展示给他看的分子生物世界那样具有自发性和复杂性。

他接着往下读，还有更精彩的。阿瑟说：“这本书所有的戏剧性情节中，最吸引我的是雅各布（Francois Jacob）和莫纳德（Jacques Monod）的研究。”六十年代初期，法国生物学家弗朗西斯克·雅各布和雅克·莫纳德在巴黎巴斯德研究所工作时发现，沿 DNA 分子排列的几千个基因的基因小群能够起到小开关的作用。打开这些开关的其中一个，比如把一个细胞暴露给某个特定的荷尔蒙，受到刺激而活跃起来的基因就会向它的同伴基因发出化学信号。尔后这个信号就会在 DNA 分子中来回运动，这就触动了其它基因开关，这些基因中的一部分因此打开了开关、另一部分因此关闭了开关。这些新被激活了开关的基因就会发出它们自己的信号（或停止发出信号）。结果就带动了更多的基因开关采取开或关的行动，从而汇聚成一个小小的瀑布，一直到这些基因所属的细胞体达到了一个新的、稳定的特有形式，这些基因的变化运动才会停止。

对生物学家来说，这一发现具有极其重大的意义。（雅各布和莫纳德因这一重大发现而双双获得了诺贝尔奖。）这意味着，细胞核中的 DNA 不仅仅只是为细胞绘制蓝图，也就是负责设计如何制造这个蛋白或那个蛋白这类工作，它实际上还是负责整个细胞建设的工头。大概地说，它是分子层次的计算机。这台计算机告诉细胞如何去建设自己、修补自己，如何与外部世界相互作用。雅各布和莫纳德的发现还解答了一个长期未解的谜：一个受精的鸡蛋是怎样分裂自己，把自己分别变成肌肉细胞、脑细胞、肝脏细胞等各种不同的细胞，从而使自己变成了一个初孵的雏鸡。被激活的基因的不同模式造成了不同类型的细胞。

当阿瑟读《创世第八天》时，完全被回忆幻觉和激动情绪混合掺杂的感觉所淹没了。在这里，特有形式再次出现：整个一组蔓延的、能够自我形成、自我进化、根据外界条件而自我调整的、具有自我连续性的特有形式。没有任何事情比这更能使他联想起万花筒了。在万花筒里，少量的珠子固定到位后便会形成一种

形状的图案，并保持这种形状的图案，直到你慢慢转动万花筒，使里面的珠子突然像瀑布一样散落，形成一个新构型的图案。这不过只是少量的珠子，然而它们可能产生的图案却是无穷无尽的。从某种程度上来说，不知怎的，阿瑟无法清晰地陈述自己的想法，这似乎就是生命的本质。

阿瑟读完加德森的书之后就在夏威夷大学的书店四处寻觅，搜罗他见到的所有关于分子生物学的书，然后就回到海边狼吞虎咽地读这些书。“我被这些书给紧紧吸引住了，被它们迷住了。”他说。六月份，他一回到国际应用系统分析研究所就转向了纯知识性的探索。但这时，他还不清楚怎样把他的新发现运用到经济学研究中去。但他能感到，他已经有了最基本的线索。整个夏天他一直在读生物学的书。九月份，他在国际应用系统分析研究所一个物理学同事的建议下开始钻研凝聚态物理学 (condensed-matter physics) 的当代理论：液体与固体的内在机制。

他就像在火鲁海滩那样被震惊了，他从来没有想过物理学和生物学会有什么相似之处，实际上物理学也确实不同于生物学。物理学家们通常研究的原子和分子要比生物学家们通常研究的蛋白和 DNA 简单得多。然而，当你观察大量简单的原子和分子如何相互作用，就会发现类似生物学的现象：最初的微小变化会导致全然不同的结果，简单的动力能够产生令人震惊的复杂行为。少量的物质所能够产生的特定模型几乎是无穷无尽的。阿瑟不知道如何从一个深层次上来定义这两者之间的相似性，物理学和生物学具有同样的现象。

但另一方面，这两者之间实际上又有着非常重大的区别。物理学家们研究的系统相对要简单得多，可以用严格的数学公式来分析。突然，阿瑟开始感到重返家园的自如。如果以前他心里还存有疑惑的话，那么现在他已经明白他面对的正是科学问题。“这些已经不仅仅是含糊的概念了。”他说。

给他留下了深刻印象的是比利时物理学家伊尔亚·普里戈金 (Ilya Prigogine) 的著作。他后来发现，许多物理学家都认为普里戈金是一个自我兜售到令人不堪忍受的地步的人。他经常喜欢夸大他所取得的成就的意义。但不管怎么说，他无疑是个能够激起读者兴趣的作者。1977 年，他在“非平衡动力学”领域的杰出工作使瑞典皇家学院把诺贝尔奖授给了他，也并非偶然。

基本上，普里戈金提出的问题是：为什么世界上总是存在结构和秩序？结构

和秩序是从哪里来的？

这个问题比听上去要难以回答得多，特别是当你考虑到，这个世界的总趋势是走向腐朽。铁会生锈、倒下的树会腐烂、澡盆里的热水会渐渐降温，一直降到与它周围的东西同样的温度。自然界好像对解体结构，把事物搅和成某种平均水平，要比对建立结构和秩序更感兴趣。

确实，趋于无序和腐朽的过程似乎永无止境。十九世纪的物理学家们把这种现象总结为热动力学的第二定律。这个定律可以被意译为：“你无法恢复一个已经打碎了的鸡蛋。”根据这条定律，如果任凭事物自由发展，原子之间会尽其可能地随机混合。这就是为什么铁会生锈的道理：铁原子一直在尽力与空气中的氧原子结合，从而形成氧化铁。这也是为什么澡盆里的水会变凉的道理：水面上快速运动的水分子在与空气中慢速运动的分子猛烈撞击下渐渐转移了它们的能量。

然而，尽管有这些现象的存在，但我们却仍然能够看到四周确实存在着秩序与结构。倒下的树虽会腐烂，但同时也有新的树木不断生长起来。因此，如何用热力学第二定律来解释结构的形成？

正如普里戈金和其他人在六十年代所认识到的，问题的解就在那句听起来不关痛痒的话里：“任其发展……”然而在现实世界里，原子和分子几乎从来不可能是任其发展的，至少是不可能完全任其发展的。它们几乎总是会把自己裸露给从外部流入的某种能量和物质。如果这些从外部流入的能量和物质足够多的话，则第二定律所描述的稳步退化的情形就会被部分地扭转过来。事实上，在某种有限的区域里，一个系统是能够自发形成完整而连续的复杂结构的。最熟悉不过的例子也许是一锅置于炉上的汤。如果我们不把煤气点燃，则什么也不会发生，炉子上的汤的温度与室内温度保持一致，也就是说，汤与它周围的物体保持着均衡。如果我们点燃煤气，将火调得很小，也不会发生多大的变化。但场内的结构却不再处于均衡状态。热能透过锅底向上升，只是所产生的区别还没有大到能造成动荡。但当我们把火调得稍大一些，则汤的结构就更多地离开均衡状态。增加的热量突然使汤变得不稳定了。汤分子微小的、随机的运动不再能使外面的低温与炉火平衡为零。汤的一部分的运动开始加剧。一部分液体开始上升，另一部分开始下降。很快，这锅汤形成了大面积的运动：从汤的表层可以看到对流汤体的六

角形特征：液体从每个汤体的中间升起来，又顺着边缘落下来。汤开始形成秩序和结构。一句话，整锅汤开始慢慢被加热。

普里戈金说，这类自组织的结构在自然界普遍存在。镭射是一个自组织的系统。光粒子，即光子，能够自发地把自己串在一起，形成一道光束。这道光束的所有光子能够前后紧接、步伐一致地移动。飓风是一个自组织的系统，它受到来自太阳的一股稳定能量的推动。这股太阳能卷起狂风，从海洋里吸取水分，化成雨水。一个活细胞虽然复杂得无法用数学来表达，却也是一个自组织的系统。细胞系统是靠吸收食物的能量，通过用散发热和排泄物的形式发挥能量而得以生存的。

普里戈金在他的一篇文章中写到，其实也可以把经济想象成是一个自组织的系统。在这个系统里，市场结构是通过对劳动力、货物和服务的需求来自发组织和运转的。

阿瑟一读到这些文字马上就坐了起来。“经济是一个自组织的系统！”这正是他想表达的，这正是自从他读了《创世第八天》后一直在思考的，虽然他以前不知道如何来表达这个意思。但他想表达的正是普里戈金的关于有生命的系统的自组织、自发动力的法则。现在阿瑟终于知道怎样把这些法则运用到经济体系中去了。

这些认识在事后看起来是如此明白。如果用数学概念来表述，普里戈金的中心意思是，自我组织有赖于自我加强：在条件成熟的情况下，微小的事件会被扩大和发展，而不是趋于消失。这正是雅各布和莫纳德在 DNA 研究中发现的现象。阿瑟说，他突然意识到：“工程学领域把这种现象称为正反馈。”弱小的分子运动会演变成细胞的对流运动、和煦的热带风能够汇聚成飓风、种子和胚胎能够成长为完全成熟的活生物。正反馈似乎是产生变化、意外事件、甚至生命本身的必不可少的条件。

然而，正反馈恰恰是常规经济学中所没有的。正好相反，新古典经济学假设经济运转完全是受制于负反馈的：即，受制于微小的事件消失的倾向。他还记得在柏克莱时他听经济学教授反复强调这一点时感到有些困惑。当然，他们并没把这叫做负反馈。在经济学教条里，消失的倾向被清晰地表述在“报酬递减率”这一概念中：即，第二块糖不如第一块糖好吃。或者说，施两遍化肥不会得到双倍

的收成。也可以说，任何事你干的次数越多就越没效用、越无利可图、越索然无味。阿瑟看到，负反馈和报酬递减率的最终结果都是一样的：负反馈防止小的不安定因素不至于失控到使物体的物理系统都解体，而报酬递减率则确保任何公司、任何产品都不会强大到控制整个市场。当人们对糖块感到厌倦时，就会转向苹果或别的东西；当所有最好的水利发电坝址都被开发之后，公共事业设备公司就会开始建设火力发电厂；当化肥施到再不需要施的时候，农民就会放弃使用化肥。确实，负反馈、或报酬递减率的概念强调了整个新古典经济学所描述的关于经济是和谐的、稳定的和均衡的观点。

但早在柏克莱当工程学学生的时候，阿瑟就已经无法不感到困惑了：如果经济领域里发生了正反馈现象会怎么样呢？或用经济学术语来说：如果发生了报酬递增率现象会怎么样呢？

“别担心这个。报酬递增率的情况是极少发生的。而且即使发生了这种情况，也不会持续长久。”他的老师们向他保证说。既然阿瑟也想不出什么特例来证实，他也就不再多问，转向别的事去了。

但当他在读普里戈金的书的时候，所有这些往事全都涌了回来。正反馈，报酬递增率，也许这种现象真的发生在经济生活中。也许正反馈和报酬递增率能够解释他周围真实的经济生活中蓬蓬勃勃、错综复杂、丰富多采的现象。

也许事实正是这样。阿瑟越想越觉得报酬递增率的概念会给经济学带来巨大的变化。以效率为例，新古典经济学使人相信，自由市场总是会筛选出最佳、最高效率的技术来的。而且自由市场在这点上确实做得不错。然而阿瑟想，我们为什么采用 QWERTY 键盘设计？在西方世界，QWERTY 键盘设计几乎用于所有的打字机和计算机键盘。（QWERTY 是这项设计名称头一行六个字母的拼写。）这是最有效地安排打字机键盘的设计吗？事实本非如此。其实 QWERTY 是一个名叫克里斯多夫·斯考勤思（Christopher Scholes）的工程师在 1873 年设计的。他特意设计成这样是为了放慢打字人的打字速度。因为那时如果打字人的打字速度太快的话，打字机就很容易卡壳。那时仁民顿缝纫机公司（the Remington Sewing Machine Company）大批量生产了一种用这种设计制作键盘的打字机。这意味着，许多打字的人都开始学习用这种键盘打字。这又意味着，其它打字机公司也开始产销 QWERTY 键盘设计的打字机。这意味着有更多打字的人学习用这种键盘的打

字机打字，以此类推。阿瑟想，这便是拥有者获得，这便是报酬递增率。现在，QWERTY 键盘设计变成了被成千上万人使用的标准键盘，这种设计的键盘基本上已经永久占领了市场。

再看七十年代中期 Beta 和 VHS 之间的竞争。到 1979 年，VHS 录像带版式垄断市场的势头已经很明显了，虽然专家们认为它在技术上还略逊 Beta 一筹。这是怎么回事呢？因为在一开始时 VHS 产品就很幸运地比 Beta 产品稍多占有了一些市场。虽然两者在技术等次上有所差异，但这多一份的市场份额给 VHS 产品带来了极大的好处：卖录像带的商店不喜欢同一个内容的录像带有两种版式，消费者也不喜欢家里有那么多被废弃了的 VCR 版式的录像带。所以每个人都想买市场上的主流产品，这使 VHS 产品占有了更大的市场。就这样，起初小小的差异被迅速扩大了开来。这又是一个报酬递增率的例子。

这类例子不胜枚举。让我们再来看看令人入迷的特有形式。新古典经济学告诉我们，高科技公司的发展总是匀称地分布在各地，因为没有任何理由可以使这些公司非要建立在某一个地方、而不能建立在另一个地方。然而在真实生活中，新的高科技公司却当然会为了要靠近其它高科技公司而在加利福尼亚州的硅谷、波士顿的 128 公路和其它高科技工业区集中。拥有者获得，这个世界具有结构。阿瑟突然意识到，这其实就是为什么哪里都会产生结构的原因：复杂地交织在一起的正反馈和负反馈无法不使事物形成系统。他说，想象一下水洒在一个表面被擦拭得十分光洁的托盘上的情形。洒在托盘上的水滴会形成一个复杂的图案。这些水滴之所以会形成这个图案，是因为有两种相互抵消的力量在起作用。一种是地球的引力，这股力量竭力要把洒落的水滴拉扯、覆盖到整个托盘，使水在托盘表层形成一个很薄、很平的水膜，这就是负反馈。然而与此同时还有一股表面张力存在，即，水分子之间相互吸引的力量。这股力量使水分子相互凝聚，从而形成紧凑的水珠，这就是正反馈。正是这两种相反的力量交织在一起才形成了托盘表层上水滴的复杂图案。而且，这个图案是独一无二的。如果你再做一次这样的实验，就会得到完全不同的水滴图案。历史上的意外事件——就像微乎其微的尘埃和托盘表面肉眼看不见的凹凸不平——被正反馈扩大，正是这些导致了结果的重大不同。

阿瑟想，确实，这也许可以用来解释历史。用温斯顿·邱吉尔的话来说，历

史就是一件接一件见鬼的事件组成的。正反馈积累了一系列无关紧要的偶然事件——在大厅的过道上谁碰到了谁、哪辆货车凑巧在哪儿停下来过了一夜、意大利制鞋匠凑巧移民——这些偶然发生的小事会扩大成再也不可逆转的历史。难道一个年轻的女演员能够完全只依靠自己的天份而成为超级明星吗？这是很难的。她幸运地在唯一一部引起哄动的电影里扮演了一个角色，因此而扬名。仅仅因为有了名声，她就从此飞黄腾达。而和她同时入行、和她具有同等才情的演员却没能取得任何成就。难道英国的殖民者们当年在寒冷而多石的马萨诸塞海湾聚集，是因为新英格兰的土地最适于建农场吗？不。他们到达并聚集在了那里，只是因为马萨诸塞海湾是这些移民到美洲的英国清教徒们下船登陆的地方，而他们在那儿下船只是因为他们乘坐的“五月花”号船寻找不到弗吉尼亚州，迷失了方向。拥有者获得——殖民地一经确立，就再没有回头的路了。没人再想选择波士顿，再搬到别处去了。

报酬递增率、锁定、不可预测性、以及造成巨大历史结局的一件件小事——阿瑟说：“最初，报酬递增率的这些特性使我深感震惊。但当我在阅读非线性物理学时，发现报酬递增率的每个特性和非线性现象都有所对应时，我感到很激动。我不再为之震惊，而是被这种现象迷住了。”他知道，其实好几代经济学家们一直在讨论和研究这些现象，但他们的努力总是孤独而分散。他感到他好像是第一次认识到，这些问题都是同样的问题。他说：“我感到自己像是走进了阿拉廷山洞，发现了一件又一件宝贝。”

到那年秋天，这些概念在他脑子里已经变得很清晰了。1979年11月5日，他把这些概念全都倒了出来，他在他的一页笔记本的上端写下“新旧经济学”这几个字，在这下面，他列出了这样两栏：

旧经济学

- 报酬递减率
- 建立在19世纪物理学理论之上（均衡、稳定、决定性的动力）
- 人们完全一致

新经济学

- 报酬递增率起到很大作用
- 建立在生物学理论之上（结构、特型、自组、生命周期）
- 强调个体生命；人们是分散

的和不同的

• 如果不存在外在干扰、所有人的能力也都相等的话，我们就能到达天堂

旧经济学

• 经济的成份由数量和价格组成
• 从一切事都处于均衡状态这个意义上来说，经济中不存在真正的动力
发展

• 把研究的对象看作是结构简单的事物
• 经济学就像物理学那么简单

• 外在干扰和人的差异变为驱动力量。不存在天堂。经济系统永远在伸展

新经济学

• 经济的成份是特有型式与可能性
• 经济永远处在时间的边缘，它不断向前发展，经济结构时常在组合、退化和

• 把研究对象看作是天生复杂的事物
• 经济学是极其复杂的科学

他就这样写下了三页纸。这是他对一种全新的经济学所做的宣言。他说：“通过这些年的思考，我最终形成了一个观点、一种见解、一个答案。”这种见解非常类似希腊哲学家赫拉克利特（Heraclitus）的见解。赫拉克利特发现，你不可能在同一条河流里涉足两次。在阿瑟的新经济学中，经济是人类世界的一部分。它总是雷同的，但又永远不可能是一模一样的。它是流动的、永恒变化的、富有生命的。

意义何在？

说阿瑟对这一全新的经济学观点充满了热情，还是个低调的说法。可是没过多久他就意识到，他的热情缺乏感召力，特别是对其他经济学家来说。“我以为，如果你干了件与众不同的，而且是很重要的事——我确实认为报酬递增率能够解释经济学中的许多现象，为这一学科指出了——一个迫切需要指出的方向——人们会用臂膀把我抬起来，欢呼胜利般地将我高高托起。我的想象简直天真得不可思议。”

11 月底的一天，他在国际应用系统分析研究所所在的哈波斯堡宫近处的公园里一边散步一边激动地对来自挪威的访问经济学者维克多·诺曼（Victor Norman）解释他的报酬递增率。突然，他泄气地发现，这个颇有声望的国际贸易理论家正迷惑地看着他：你谈的所有这些有什么意义呢？他从 1980 年开始在讲座和学术讨论会中介绍他的报酬递增率，也听到了和这差不多的反响。往往是有一半听众很明显地表现出对报酬递增率的浓厚兴趣，而另一半听众却不是困惑不解，就是表示怀疑，甚至表示出敌意。报酬递增率有什么意义呢？它和真正的经济学又有什么关系呢？

这些问题使阿瑟深感困惑。他们怎么就会看不出来呢？问题在于，你必须看到这个世界的本来面目，而不是按照华丽的经济学理论所描述的观点来看待这个世界。这使他想起欧洲启蒙运动时期的医学实践。那时的医生只是从理论上学习医疗知识，极少接触真正的病人。对那时的医生来说，健康仅仅是件身体内部保持均衡的事：如果你是个脸色红润的人、或是个易怒的人、或是个随便什么样体质的人，只要你的体液能恢复平衡，你就能恢复健康。“但这三百年来的医学经验，从哈维发现血液循环、到分子生物学的出现，却告诉我们，人类器官是极其复杂的。这意味着，医生得把听诊器放到病人的胸口来听诊，对病例一个一个分别做出诊断。我们现在就是在听由这样治病的医生来给我们治病。”确实，只有当医学研究者开始注意到人体真实的复杂情况之后，医生们才有可能使医疗和用药真正发挥的治疗作用。

他认为，报酬递增率之于经济学，就像医疗诊断实践之于医学一样，都是朝着同样的方向迈进。他说：“重要的是要观察外面实际的、活生生的经济生活，它是相互依存的、错综复杂的、不断进化的、开放的系统，是一个像生物一样运转的系统。”

但他很快就明白了，真正使他的经济学观点受到抨击的，是他的关于未来的结果是无法预测的观点。人们问，如果这个世界可以形成不计其数的可能的形式、如果最终形成的特有的经济形式只是不过出自于历史的偶然，那么你怎样对事情做出任何预测呢？而如果你不能对事情做出预测，那你又怎么能说你所从事的是科学呢？阿瑟不得不承认这个问题提得好。经济学家们很久以前就决意要使经济学成为像物理学那么“科学”的学科。这意味着，所有的经济现象都可以用数学

的方法做出预测。他自己也是在很长时间以后才认识到，物理学并不是唯一的一种科学。难道达尔文因为不能预测物种在今后的百万年中将如何进化，所以他所从事的就“不科学”了吗？难道因为地质学家不能精确地预测下一次地震会发生在哪里、或哪一座山脉将会隆起，所以他们所从事的就不科学了吗？难道天文学家因为不能精确地预测哪一颗新星将会在哪个方向出现，所以他们所从事的也不科学了吗？

当然不是。能够预测固然很好，如果你能做到的话。但科学的实质在于解释，在于揭示大自然最基本的运转机制。这就是生物学家、地质学家和天文学家在他们各自的领域所从事的工作，这也正是他的报酬递增率所瞄准的方向。

毫不奇怪，这样的理由无法说服根本就不想被说服的人。比如 1982 年 2 月在国际应用系统分析研究所举办的一次讲座上，阿瑟在作完关于报酬递增率的演讲，回答听众问题时，一位来自美国的经济学家站起来愤怒地问：“请你举例说明，有哪项占领了市场的技术并不比它的竞争对手先进！”

阿瑟扫了一眼挂在课堂墙壁上的钟，因为这个讲座所剩时间不多了，与此同时他不假思索地说：“噢，时钟。”

时钟吗？对。他解释说，我们今天所见的所有时钟都装有沿“顺时针”方向移动的时针和分针，但按他的理论来分析，也许曾经流行过和现在盛行的时钟不相上下的古老时钟技术，这些技术被深埋于历史的尘埃之中，只不过凑巧没能沿用至今而已。“据我所知，历史上有一个时期也许有时针和分针沿逆时针方向移动的时钟。这样的时钟在当时就像我们现在用的时针和分针沿顺时针方向移动的时钟一样普遍。”

那个提问者并没有被他说服。另一个颇有声望的美国经济学家接着站起来厉声说：“我无论如何也无法认为顺时针方向移动的时钟就锁定了市场。我戴的就是电子数控手表。”

对阿瑟来说，他的话已经离题了。但那一天他的演讲时间已经到了。而且他举的关于时钟的例子也只是个猜测。但三周以后，他收到他在国际应用系统分析研究所的同事詹姆士·沃佩尔（James Vaupel）从他正在度假的佛罗伦萨发来的一张明信片。这张明信片上有一张佛罗伦萨教堂的时钟的图片，这个时钟是佩奥罗·厄塞罗（Paolo Uccello）在 1443 年设计的。它的时针和分针正是沿逆时针

方向移动的。(也显示 24 小时。)沃佩尔在图片的反面只写道:“恭喜你!”

阿瑟非常喜欢这个厄塞罗时钟,他把这个时钟的图片制成透明幻灯片,这样他就可以放入幻灯机里,好在以后说明某些历史事件怎样导致某些产品碰巧占领了市场时举此为例。这张厄塞罗时钟的幻灯片总是能在讲座上引起反响。有一次他在斯坦福的一次讲演中用幻灯机显示这张图片时,一个研究生跳了起来,拿出这张幻灯片,把它反过来再放入幻灯机里,使时钟的走向正好反了过来,然后胜利地说:“你瞧,这是一个骗局。这时钟其实是顺时针走的!”多亏阿瑟这时已经做了一点关于时钟的研究,他还有一张用拉丁数字显示的沿逆时针方向移动的时钟的幻灯片。于是他把这张幻灯片放出来讲:“除非你假设这钟上的数字是利奥那多·达芬奇倒着写出来的,否则你只能承认这时钟和厄塞罗钟都是逆时针走的。”

其实那时阿瑟已经能够给听众举出大量关于历史事件怎样使一些产品凑巧占领了市场的例子了。他有 Beta 与 VHS 竞争的实例,当然 QWERTY 键盘设计也是一例。但内燃机却是一个怪例。阿瑟发现,在上个世纪九十年代,当汽车工业还只是个想象时,汽油被认为是最没前景的动力燃料。而当时汽油的最主要的竞争对手,蒸汽发动技术,已经发展得相当不错了。蒸汽发动机既安全,又为人们所熟悉。而汽油不但很贵,而且发动时声音很大,具有易爆的危险性,很难提炼出有效等级,还要求使用一种复杂的新型引擎和机件。另外,汽油引擎先天就不能使汽油充分燃烧。如果当时事情的发展全然不同的话,如果蒸汽发动机在这九十年时间里能够像汽油发动机那样高速发展的话,那么我们现在生活环境中的空气污染也许会大大减少,我们对进口石油的依赖也会大大减小。

但当时确实是汽油发动机技术获得了发展的机会。阿瑟发现,这在很大程度上是由一系列历史事件造成的。比如在 1895 年,芝加哥时代先驱报组织发起了一场非马力车赛,结果以汽油为动力的德耶车(Duryea)一举获胜。德耶车是当时仅有的采用六个启动装置的两辆小汽车中的一辆。也许是这个动因促使兰塞姆·奥茨(Ransom Olds)终于在 1896 年将汽油发动机专利技术用于大批量生产曲锐型奥茨车(Curved-Dash Olds)。这项技术使汽油发动机克服了启动缓慢的毛病。后来,到了 1914 年,北美突然爆发了一场蹄嘴病,马饮水用的水槽纷纷被拆除了,而马槽是蒸汽发动机车加水的唯一地方。尽管那时斯坦利蒸汽机的制

造者斯坦利兄弟 (Stanley Brothers) 已经研制出凝聚器和汽锅, 可以使蒸汽机车无须开三十或四十英里就得加一次水, 但已经为时太晚了。蒸汽机车再也没机会翻过身来, 汽油机车很快锁定了市场。

核能是另外一例。1956 年, 当美国开始民用核能研究时, 专家们提出了许多设计方案: 用瓦斯、用普通的“轻”水、用奇异的被称为“重水”的液体、甚至用液体钠来冷却反应堆。每种设计方案在技术上都有其优点和缺点。三十年以后回过头再来看这些设计方案, 许多工程师都相信, 高温气体冷却的设计会比其他方案更安全、更高效, 而且会在公众和反对派对核能的使用开始担忧和反对之前就稳住人心。但当时事情演变的结果却是, 技术的争执与最后的选择几乎毫不相干。当 1957 年苏联发射了第一颗人造卫星之后, 艾森豪威尔政府突然急于要建成反应堆, 并使之立即投入运转——任何反应堆都行。当时唯一最接近能够使用的反应堆就是高密、高功效型的轻水反应堆。这种反应堆是海军为制造核潜艇而研制的一种动力设备。海军的设计因此而被扩大为商用性生产, 并被投入使用。这就使轻水设计在技术上得到了进一步的发展。到了六十年代, 这种设计在美国基本上取代了其它的设计方案。

阿瑟在回忆 1984 年在哈佛大学肯尼迪学院的讲座上举轻水反应堆这个例子时说: “当时我说, 这里有一个简单的例子可以表明, 在经济中确实有由于历史事件而使某些在技术上处于劣势的商品凑巧占领了市场的现象, 比如像轻水反应堆的广泛应用这件事。这时, 一位颇有名望的经济学家站起来喊道: ‘但是在完美的资本主义市场经济中, 这种事不可能发生!’ 他用了许多术语, 基本的意思是, 如果把许多额外的假设也都囊括进来, 完美的资本主义经济就能恢复亚当·斯密的世界。”

嗯, 也许他是对的。可六个月以后, 当阿瑟在莫斯科做同样的演讲时, 听众中一位凑巧在场的最高苏维埃成员站起来说: “你所描述的这些情况也许会发生在西方经济中, 但在我们完善的社会主义计划经济里, 不可能发生这样的事。我们总是能得到最佳结果。”

当然, 只要 QWERTY 键盘设计、蒸汽机车和轻水反应堆仅仅只是个别的、孤立的例子, 众人的批评就总是能够否定仅仅由于历史事件的巧合而发生的市场锁定和报酬递增率, 把它们视为非常态的情况。他们会说, 正常的经济运转肯定不

是那么混乱无序、那么不可预测。起初阿瑟也怀疑，也许他们是对的。在大多数情况下，市场经济是相当稳定的。直到很久以后，在一次为给研究生讲报酬递增率一课而做准备时，他才突然认识到为什么人们的批评是错的。报酬递增率决不是孤立的现象，这个规律适用于高科技领域的任何情况。

他说，看看像微软视窗这样的软件产品吧。这家公司为研制和推销第一盘软件花费了五千万美元。可第二盘软件只花费了——多少？材料费只有 10 美元。在电器、计算机、制药业。甚至航空宇宙方面的情况都同样如此。（研制第一颗 B2 炸弹的费用是 210 亿美元，尔后每枚炸弹的制作成本是 5 亿美元。）阿瑟说，高技术几乎可以被定义为“凝结的知识”。它的边际成本几乎为零。这意味着，你每生产一个拷贝，就会使生产成本更低一些，而且还不止这个，每生产一个拷贝，也是一个学习的机会。在生产微处理器集成电路块的同时也得到了经验的收益，诸如此类。所以，增长生产能够获得巨大的报酬。简而言之，整个生产体系是受报酬递增率规律支配的。

同时，在高科技产品的用户中，群体使用标准化产品的倾向也导致了同样大幅度增长的报酬。阿瑟说：“如果我这条航空线买的是波音机，那我就要买许多波音机，这样我的飞行员就用不着重新去适应另一种机型了。”同样，如果你是一个办公室的经理，你会把办公室的微机都买成同样的型号，这样办公室的工作人员就都可以使用同一种软件了。其结果是，市场很快就被少数几样相对标准的高科技产品占据了。在微机产品中，IBM 机和 Macintosh 占据了绝大部分市场，在商业性客机产品中，波音机、麦克唐纳和道格拉斯占据了市场。

现在让我们拿高科技产品和粮食、化肥、水泥这样一些在几代人之前技术就已经成熟了的标准大宗商品来做一下比较。今天，这些商品的真正成本是人力、土地和原材料的成本，而这些是报酬递减率规律很容易发挥作用的领域。（生产更多的粮食要求农民开垦更多相对不太肥沃的土地。）常规新古典经济学已经将这些趋于固定、成熟的行业的经济发展状况做了相当完善的描述。“从这个意义上来说，报酬递增率并不能取代常规经济学理论。报酬递增率只适合于不同的经济领域。”

阿瑟说，这对于现实来说意味着，美国的政策制定者们在对某一类的问题做经济上的假设时必须非常小心，比如在美国对日贸易上，“如果你用常规经济学

理论来假设，就会谬之千里。”几年前在他参加的一个会议上，英国经济学家克里斯托福·弗里曼(Christopher Freeman)站起来称，日本在家用电器和其它高科技产品市场上的成功是必然的。他说，只消看看这个国家低成本的资本、其投资谨慎的银行、其强有力的联盟、以及其在缺乏原油和矿物资源的情况下对技术发展的迫切需要就明白了。

“当时正好轮到我接下来发言。所以我就说，让我们来想象一下，如果泰国和印度尼西亚的经济已经起飞了，而日本的经济还在衰退落后的状况之中。常规经济学家们就会用同样的理由来解释日本经济为什么落后。资本的低成本意味着资本的低回收率——所以没有理由投资；为采取共同的行动而组成的政治联盟被认为是低效率的；集体决策意味着蹒跚迟缓的决策；而银行不是为了冒险而建立、而存在的。如果缺乏原油和矿物资源，这个国家的经济就会蹒跚不前。所以，日本的经济怎么能够发展呢？”

阿瑟说，既然日本的经济确实很明显地发展了，那他就得用另一种解释来论证其成功。“我说，日本企业的成功不是因为日本企业具有美国和欧洲的公司所不具有的奇异特点，而是因为报酬递增率规律使高科技市场趋于不稳定、有利可图和可能被整个地占领，因为日本比其它国家更早、更彻底地明白了这一点。日本人是善于向别国学习的，他们很懂得如何瞄准市场，他们将产品大批量地投入市场，趁报酬递增率的动力规律之机，使自己的优势产品迅速占领市场。”

阿瑟说，他对此坚信不疑。同样，他怀疑美国在“竞争力”上存在的一个严重问题是，政府决策人和企业总经理们对高科技市场的赢者能占有整个市场这一本质认识得太晚了。他指出，在整个七十年代和八十年代的很大一部分时间里，联邦政府根据常规经济学的教诲采取了“不干涉”经济的政策。可是常规经济学的教条并没有认识到抢在对方占领市场之前推出自己的优势产品的重要性。结果，高科技工业受到低科技工业和大批量生产的商品工业完全一样的对待。任何或许能使新兴工业得到尽快发展的“工业政策”都被嘲讽为是违背了自由市场经济。在任何领域都实行自由、开放的贸易一直是美国的目标和准则。根据一项在这个世界还是被大宗商品所垄断的时期所做出的反垄断规定，企业之间的合作仍会受到劝阻。到了九十年代，这种模式开始有了一点改变，但只是一点儿改变。阿瑟因此论证说，早就到了应该从报酬递增率的角度来重新思考常规经济学教条

的时候了。“如果我们还想靠我们的知识来创造财富的话，我们就需要适应新的规律。”

阿瑟在从现实生活中收集报酬递增率的例子的同时，也在设法用严格的数学方式来分析报酬递增率现象。“我当然不反对数学方法。我本身就是一个经常用数学的人。我反对的只是错误地运用数学，反对把对数学的运用变成只为了数学而数学。”他说，当数学被正确地运用时，它能极其清晰地澄清你的观点。这就像一个工程师，先有了一个设想，然后建立一个实用的模型。数学公式则可以告诉你，你的理论哪一部分可行、哪一部分不可行，也会告诉你哪些概念是必须的、哪些是多余的。“当你用数学公式来推导某件事，你实际上是在提炼这件事的本质。”

而且，他知道如果他不用数学对他的报酬递增率做出分析，那么经济学圈子里有相当大一部分人就决不会承认他的理论，除了是一些事件的纠集之外还会是别的什么。看看先前他每一次介绍报酬递增率概念时所发生了些什么就清楚了。事实上，早在 1891 年，英国伟大的经济学家阿尔弗雷德·马歇尔（Alfred Marshall）已经在他的《经济学原理》（Principles of Economics）一书里对报酬递增率做了相当深入的探讨。他在这本书里也用很大篇幅介绍了报酬递减率。阿瑟说：“马歇尔对报酬递增率已有深思熟虑，但他没有数学工具来对此做充分的数学分析。特别是，马歇尔那时就认识到，在经济中，报酬递增率能够导致多种可能性的结果。这意味着，对经济学者来说，最基本的问题是要准确无误地知道为什么最终选择的是这种方案、而不是别的方案。而自从那以来，经济学家们恰恰就是在这个问题上被卡住了。在经济学家眼中，只要哪儿出现不止一个均衡点，那么这件事的结果就会被认为是模糊不清的。结果没有任何理论可以解释某一个平衡点是怎样被选中的。而对此的不解，弄得经济学家们无法使自己适应报酬递增率的概念。”

在二十年代也发生了相似的情况。当时一些欧洲经济学家试图用报酬递增率概念来解释为什么城市会发展和集中成目前这种状况，为什么不同的城市（和不同的国家）会专营某些商品，比如鞋、巧克力或精巧的小提琴。阿瑟说，在二十年代，这些经济学家们所用的基本概念是对的，但他们缺乏的仍然是数学工具。“在概念不明的情况下，经济学走进了停滞不前的死胡同。”

因此阿瑟削尖了铅笔，开始投入工作。他需要的是一个能把报酬递增率动力规律揉入经济学中的数学框架。这个数学框架要能清晰地、逐步地表明，市场是怎样在多种可能的结果中做出选择的。“在现实世界里，最终结果不是碰巧发生的，而是积累而来的，是一个个小小的机会被正反馈扩大而来的。”1980年，阿瑟在与朋友和同事反复商榷之后，最终得出了建立在非线性随机进程理论之上的一组抽象的数学公式。他说，这些数学公式其实相当笼统，可以适用于任何报酬递增率的情况。但在概念上，这些公式表明的是这样一类情况：假设你要买辆小车（那时国际应用系统分析研究所的许多人买的都是沃克和菲亚特车），为了说得清楚些，假设只有两种型号的车可供选择，权且把它们叫做A型和B型。现在，你已经读了介绍这两种车型的小册子了，但这些介绍非常雷同，你读完后仍无法确定到底买哪种车好。这时你怎么办？你会像所有明智的人一样开始向朋友咨询。然后正好碰巧，纯粹是碰巧，你咨询的前两个、或前三个人说，他们开的都是A型车。他们告诉你这种车开着感觉不错。所以你就决定也买一辆A型车。

但必须注意到，现在这个世界上又多了一个开A型车的人，那就是你自己。这意味着，下一个想向人咨询买车的人有了更多一点的机会碰上一个开A型车的人。所以这个人比你有多一点的可能性会选择购买A型车。如果A型车有很多这样小小的成功机会的话，它就有可能占领市场了。

相反，假如这样一个个小小的机会换给了B型车的话，那你也许会选择购买B型车，那么B型车可能就会占优势，最终占领市场。

阿瑟说，事实上，在某些条件下，你甚至可以用数学公式来表明，只要开始时无论哪一万幸运地得到几次机会，整个过程就能够导致任何结果。汽车买卖的最终结果也许是A型车占领了百分之四十的市场、B型车占领了百分之六十的市场，或者是A型车占有了百分之八十九的市场、而B型车只占了百分之十一的市场，或可以是任何一种结果，完全是偶然的结果。阿瑟说：“要显示偶然的事件在随机进程中是怎样不断积累，从而从众多的可能性中选择出其中一个平衡点，是我所干过的事情中最富挑战性的了。”但到1981年，阿瑟通过与他国际应用系统分析研究所的同事、来自基辅斯哥诺霍德学院的约里·厄姆利夫（Yuri Ermoliev）和约里·凯尼欧夫斯基（Yuri Kaniovski）——“世界上最优秀的两位概率理论家”——的合作，他成功地做成了这件事。1983年，他们三

人联名在苏联《控制学》(Kibernetika)杂志上发表了他们就此撰写的系列论文的第一篇。“现在,经济学家们不但可以看到某一种结果产生的整个过程,而且可以从数学推论中看到,一组组不同的历史事件是怎样导致了完全不同的结果的。”

阿瑟说,最重要的是,报酬递增率再也不是奥地利经济学家约瑟夫·熊彼特(Joseph Schumpeter)所说的“无法分析的一片混沌了”。

侵犯神圣之地

1982年,阿瑟突然发现,国际应用系统分析研究所的气氛已经远不如以前那样宜人了。迅速恶化的冷战使这个研究所美苏双方人员的关系降到了只能维持表面客气的地步。里根政府因为急于要使美国人避免在与苏联这个邪恶帝国的接触中堕落变坏,突然把美国人撤出了这个组织。阿瑟对离开研究所感到很难过,与苏联同事共事曾使他感到非常愉快,总不可能在一个哈波斯堡宫殿里揍一个军官吧?但事情的结果还算不错,阿瑟结束了在国际应用系统分析研究所的工作之后到斯坦福大学做了一年的访问教授。在斯坦福,他在人口统计学方面的声誉似乎对他十分有利。在快要结束他为期一年的访问教授工作之前,系主任召见了他。

“要让你留下来需要什么条件?”

“嗯,我知道有一个终身教授的位置正空缺着。”阿瑟说。他已经得到了世界银行、伦敦经济学院和普林斯顿大学的工作许诺,所以心里有底。

系主任大吃一惊。终身教授是一个具有崇高荣誉的职位,一般只授给最有声誉的研究者。终身教授实际上是一个终身职位。“我们不拿终身教授的职位作为讨价还价的条件。”她申明。

阿瑟说:“我并不是在讨价还价,而是你在问我留下来要什么条件。”

因此他们就给了他终身教授的职位。1983年,三十七岁的阿瑟成为人口研究与经济学系主任和终身教授。他笑着说:“这是我在学术领域得到的第一个永久性工作。”他是斯坦福大学历史上最年轻的终身教授之一。

这是一个值得回味的时刻。现在回想起来,这真是一个难得的好机会,他并不指望在今后很长一段时期里能再有几次这样的机会,尽管他的经济学同事们也

许更欣赏他在人口统计学方面的研究成果，其中许多人似乎仍然觉得他的报酬递增率经济学的概念难以接受。

公平地说，许多经济学家还是很乐意接受他的观点的，有些人甚至对他的观点表现出很浓厚的兴趣。但对他最致命的批评也确实几乎总是来自美国人。在斯坦福工作使他只能面对这一事实。“我在加拉加斯谈我的观点不会汗流浹背，在维也纳谈我的观点也不会冒汗，但我只要在美国谈我的观点就要大吃苦头。只要一听到我说报酬递增率的情况是可能发生的，美国人就变得愤愤然起来。”

美国人对报酬递增率经济学的敌意让阿瑟感到困惑不解。阿瑟知道这敌意有一部分是因为美国人对数学公式的热衷。毕竟，如果你毕生都在证明市场均衡的定律、市场均衡的独特性和市场均衡的效率，那么，当有人走过来对你说，市场平衡的道理有些可疑时，你肯定不会很高兴。就像经济学家约翰·黑克斯（John R. Hicks）1939年所写的那样，当他看清了报酬递增率的真正含义时惊恐万状。“它威胁到要毁坏大部分的经济学理论。”

但阿瑟感到，美国人对报酬递增率的敌意比这来得还要深刻得多。美国的经济学家比世界上任何国家的同行都更加热情地献身于自由市场原则，并以此而著称。事实上，当时里根政府正忙着削减税收、废弃联邦规定、将联邦服务设施“私有化”，总之是在把自由市场的资本主义经济当做一种国家宗教。阿瑟后来逐渐认识到，美国人之所以对自由市场原则如此热衷，是因为自由市场的理想已经和美国人对个人权利和个人解放的理想紧紧联在了一起。这两个理想都基于这样一个概念，即，当人们都能自由地做自己想做的事情时，社会就会处于最佳运转状态中。

阿瑟说：“每一个民主国家都得解决一些问题。如果你让人们都做自己想做的事，那么你怎样去获得整体的利益？在德国，解决这个问题靠的是人人都关注自家窗外的他人。人们会径直走过来对你说：‘给这婴儿带上帽子！’”

在英国，人们让一伙聪明人高高在上地掌管所有这些事。英国人会说：“噢，对了，我们有专司其职的皇家委员会，由某某勋爵当主席。我们会把你们的一切利益都考虑进去的。明天你家后院就会有一个核反应堆了。”

但在美国，人们的理想是最大限度的个人自由。或就像阿瑟说的那样，“让每个人都成为自己的约翰·维恩（美国西部牛仔片明星），端着枪到处跑。”无论

这一理想在现实面前已经做出了多大程度上的让步,但在美国人的心中它仍然具有神秘的力量。

而报酬递增率却正击中了这股神秘力量的心脏。如果一件件偶然的小事能够给你带来多种可能的结果,那么你实际上选择的就不一定是最好的结果。这意味着,最大限度的个人自由和自由市场也许并不能让人们获得所有可能性中的最佳结果。就这样,鼓吹报酬递增率使阿瑟无辜地闯进了一个雷区。

嗯,他不得不承认他已经受到了多次警告。

他回忆说,那是在1980年,他应邀去布达佩斯科学院作一系列关于经济人口统计学的演讲。有一天晚上,在布达佩斯州际旅馆的酒吧里,他和学术界人物马丽娅·奥古斯蒂诺薇克(Maria Augusztinovics)闲聊。一手端了杯苏格兰威士忌酒,一手夹着一枝香烟的奥古斯蒂诺薇克是一位令人敬畏的女士。她的几任丈夫都是匈牙利最优秀的经济学家,她自己也是一个非常有洞察力的经济学家,而且她还是个很有影响力的政治家,在匈牙利政府中有很高的地位。据说她可以把官僚们当早餐吃。阿瑟不觉得这个说法有什么值得怀疑的。

她问阿瑟,你近来一直在做些什么研究?于是阿瑟就开始向她热情地介绍他的报酬递增率。“它能够解释许多问题,所有这些过程和特有形式。”他最后总结说。

奥古斯蒂诺薇克对于什么是西方经济学家应该遵循的哲学观念非常了解。所以她同情地看着他说:“他们会把你钉死在十字架上的。”

“她是对的,1982年到1987年的这段日子真令我生畏。我的头发就是在那段时间变白的。”

阿瑟不得不承认,是他自己给自己造成了这巨大的痛苦。“假如我是一个从内心就对经济学忠贞不二的人,那么整件事的发展也许会顺利些。但我在本质上并不是一个经济学圈内的人,我是后来加入进来的。”

但他具有爱尔兰人的叛逆性格,而且他也没有情绪为讨好经济学的主流而把自己的想法用众多经济学术语和假模假式的分析包装起来。这铸成了他严重的战略性错误:1983年夏天,当他为正式发表而撰写他的第一篇关于报酬递增率的论文时,他是用直白朴素的英文写的。

他解释说:“当时我相信我所写的对经济学来说是至关重要的东西,所以我

决定用一种浅显易懂的方式来写，这样就能使本科生也能读懂。我认为那种华丽的数学公式反而会影响我的论说。而且我认为，嘿，我以前不是已经发表过数学性很强的论文了吗？我不再需要证明什么了。”

这可大错特错了。他说，如果他以前还没明白这一点的话，那么很快他就明白了。理论经济学家对数学技术的运用就像森林里的大牡鹿用它的鹿角一样：用它来进行相互之间的搏斗，用它来建立自己的统治。而一个不用自己鹿角的牡鹿就会什么都不是。幸运的是，阿瑟那年秋天在国际应用系统分析研究所已经把这篇论文的手稿作为工作报告非正式地散发了。而正式论文在那以后长达六年的时间里未得到发表。

1984 年初，美国最富声誉的《美国经济评论杂志》寄回了他的论文，并附了一封总编写的回信。这封信的大概意思是，“没戏！”《经济学季刊》在寄还他的论文时说，季刊的读者不会认为此文有什么技术上的错误，只是他们也不会承认此文所描述的这项研究有任何价值。《美国经济评论杂志》在换了一个总编以后暂时接受了他第二次寄去的这篇论文，但在内部被来回推诿长达两年半之久，同时还要求作者做了无数次修改之后，最终又一次退了稿。英国的《经济学杂志》只是简单地答复说：“不！”（在重写了十四次以后，这篇论文最终被《经济学杂志》接受，于 1989 年 3 月以《竞争中的技术、报酬递增率、历史事件导致的锁定》为题目登载了出来）。

阿瑟陷入了绝望的愤怒之中。当年马丁·路德·金还能把他的九十五篇文章钉在威腾堡教堂的大门上，让每个人都能读到呢。而在现代的学术界，没有教堂的大门，一个观点如果没有经过一份正式杂志刊登出来，就等于并非正式存在。令他倍感灰心丧气、且颇具讽刺意味的是，报酬递增率这一观点最终开始流行起来，变成了经济学领域的某种运动，而他却因论文被扣压数年，竟无法加入这场运动。

举经济历史学家为例。他们是从事技术历史、工业起源和真正的经济发展的经验性研究的学者。斯坦福大学有一群第一流的经济历史学家，他们是阿瑟最初的和最热情的支持者。因为很多年以来，他们一直受到新古典经济学理论的压抑。新古典经济学理论，如果被他们真正接受的话，那么这个理论实际上说的是，历史与经济是毫不相干的。处于完美均衡之中的经济是存在于历史之外的。无论发

生什么样历史事件的干扰，市场总是会趋于所有可能性中的最佳选择。有少数经济学家正是这样认为的。美国许多大学的经济系也正在考虑废弃经济历史这门必修课。所以经济历史学家们喜欢阿瑟的关于历史事件导致“锁定”这个概念，喜欢一件件小事会导致重大后果这个观点。阿瑟关于报酬递增率的观点为他们的存在提供了理论基础。

没有人比阿瑟在斯坦福的同事保罗·戴维(Paul David)更有效地鼓吹他的这一观点的了。早在七十年代中期，戴维就独立发表了几篇关于报酬递增率和经济历史方面的论文。但从阿瑟的角度来看，即使是戴维的支持也产生了适得其反的结果。在1984年底的美国经济学学会的全国大会上，戴维参加了一个“历史的作用是什么？”的专题讨论。在讨论中，面对在场的六百多名经济学家，他用QWERTY键盘设计这个例子来讲解被历史事件锁定和途径依赖的观点。他的演讲引起了轰动，就连最顽固的数学经济学家也被他打动了。现在有了一个理论依据来证明历史是重要的。《波士顿世界》还报道了他的这次演讲。阿瑟很快就听见人们问他：“噢，你是斯坦福来的呀，那你有没有听说过保罗·戴维关于历史事件造成的锁定效应和途径依赖的研究？”

“这简直糟糕透了。”阿瑟回忆说。“我感到我想说话，但却没办法说出来。我的成就被记在了别人的头上。好像我只是在跟随，而不是在领头。我感到我走到了穷途末路。”

1987年3月重返柏克莱大学时菲什洛和罗森堡的态度导致了阿瑟的精神崩溃，那次可以算是他情绪的最低潮了。但还不止于此。他开始做起了恶梦。“一周里我三次做到同一个梦，一架飞机起飞了，可我却不在飞机上。我觉得我肯定是被拉下了。”他开始认真地思考是否要放弃经济学，把所有时间都投入到人口统计学研究上。他的学术事业似乎已经化为灰烬了。

使他坚持下来的是他顽强的性格。他说：“我只是一个劲儿地往前推啊，推啊，推啊，努力使自己相信，这个学术体系总有一天会不得不做出让步。”

结果他是对的。事情的发展正是这样，他没有再等太久。

第二章 老师倒戈

倒霉的柏克莱之行的一个月以后,1987年4月加州的一个艳阳天,布赖恩·阿瑟在穿越斯坦福大学校园时吃惊地看到一辆自行车猛地停在了他面前。车上跨着一个身着运动服、打着领带、头戴一顶白色旧头盔的著名人物。“布赖恩,我正想给你打电话。”肯尼思·阿罗叫住他。

是阿罗。阿瑟立刻警觉了起来。确切地说,倒不是他怕阿罗。不错,在很大程度上,阿罗是经济学的高度数学化的始作俑者,而阿瑟反对的则正是这种高度数学化的经济学。但阿瑟知道,阿罗是一个和蔼可亲、思想开通的人,他最喜欢的事莫过于一场痛快淋漓的学术辩论。他是一个在把你的论点批得体无完肤后仍然可以是你的朋友的人。但,怎么说呢?和阿罗谈话就像和教皇谈话一样,正是这一点让阿瑟感到有些惕怵。阿罗十几年前就获得了诺贝尔奖,可能是目前世界上最出色的经济学家。六十五岁的阿罗思维仍然如闪电般敏捷,而且听说他对草率的推理极不耐烦。他只要一走进房间就能整个改变一场学术讨论的气氛:发言者开始感到如履薄冰,听众则停止了玩笑,挺直了身板,人人都把注意力集中到正在讨论的问题上,异常小心地斟酌自己的提问和评论。因为谁也不想阿罗面前表现得像个白痴。

“哦,你好。”阿瑟说。

阿罗显然有什么急事要赶着去做。他急促地对阿瑟说,他正在帮新墨西哥的一个小型研究所筹备一个由经济学家和物理学家参加的研讨会。这个研讨会将于今年夏末召开。他负责为这个研讨会邀请十名经济学家。凝聚态物理学家菲尔·安德森负责邀请十名物理学家。“你能不能来参加这个研讨会,并拿出一篇关于形态锁定的论文?”他问。

“当然。”阿瑟立刻表态说。形态锁定?什么是见鬼的形态锁定?难道阿罗谈的是他在形态锁定和报酬递增率方面的研究?难道阿罗竟然知道他在报酬递增率方面的研究?“嗯,这个研究所在什么地方?”

“在桑塔费,就在洛矶山脚下。”阿罗答。他重又骑上车,匆匆告别,答应马上给阿瑟寄些资料来,然后就骑走了。阿罗沿着斯坦福大学校园内棕榈叶遮荫的大道一直骑出去好远,阿瑟还能看到他的白色头盔。

阿瑟一直望着阿罗骑车远去的背影，极力想弄明白他刚才到底答应了做什么？他搞不明白究竟是什么令他更为惊讶：是物理学家想和经济学家对话呢？还是阿罗想和他谈话？

几周以后，1987年5月的一天，阿瑟接到一个从桑塔费订来的电话。打来电话的人声音柔和地自我介绍说，他叫乔治·考温。考温在电话上感谢阿瑟同意今年秋天来参加经济学家的研讨会。他说，他和他的同事们非常重视这个研讨会。桑塔费研究所是一个由物理学家马瑞·盖尔曼和其他一些人创办的小型私营机构，致力于复杂系统各个方面的研究。所谓复杂系统的各个方面，指的是从凝聚态物理学到社会整体的各个方面，包括任何内部有许许多多相互作用的因素的事物。这个研究所没有教职工，也没有学生，但却在致力于尽可能广泛地在研究人员之间建立起联络网。经济学家便是这个联络网上重要的一环。

考温说，他打电话给阿瑟的真正意图是，肯·阿罗建议桑塔费研究所邀请阿瑟来做访问研究员。也就是说，阿瑟可以在研讨会召开前几周来桑塔费，在研讨会召开以后还可以再在研究所住上几周。这样，他就有时间和其他住在研究所的研究人员一块儿工作，共同探讨。对此他有兴趣吗？

“当然有兴趣。”阿瑟说。秋季到桑塔费住上六个星期，所有费用都不必自己负担。为什么不呢？此外，他不得不承认桑塔费这个强大的学术火力网给他留下了深刻的印象。盖尔曼也是诺贝尔奖得主，这是继阿罗和安德森之后阿瑟听说的与桑塔费有关的第三个诺贝尔桂冠得主。盖尔曼是“夸克”(quarks)理论的创始人。夸克是运动于质子和中子之内的最小的粒子。阿瑟仍然不太明白这个叫老温的人所说的“复杂系统”究竟是什么，但整桩事情听上去已经让他觉得疯狂到足以撩起他的兴趣了。

“哦，顺便问一下，”阿瑟说，“还没人向我提及您的大名。请问您在桑塔费研究所担任什么工作？”

电话的那端停顿了片刻，然后传来一声咳嗽。“我是所长。”考温说。

乔治

其实阿瑟并不是唯一被桑塔费研究所所困惑的人。每一个第一次接触桑塔费

的人总是会感到有些震惊。这个地方整个儿地摧毁了旧框框。这是一个由年迈的学术巨子创建的机构，他们头顶诺贝尔奖的桂冠，地位特殊、声名显赫。他们是些你以为会最安于现状的体面人物，但其实他们却是在借他们的声望作为平台，来掀起一场他们自称为科学革命的运动。

这个研究所的成员主要由核心物理学家和计算机高手组成。他们来自罗萨拉莫斯这个最初研制核武器的秘密军事基地。然而在研究所的走廊里却充满了对“复杂”这一新科学的激动人心的讨论。在他们的头脑中，复杂就好比一个大同世界，能涵盖从进化生物学到诸如经济、政治、历史这样的模糊学科——更别说是能够帮助人们建立一个更加恒久而和平的世界。

简而言之，这整个儿就是一桩怪事。如果你试图把桑塔费研究所想象成是发生在商界的话，你就得想象成是 IBM 公司总部研究所的主任离任了，回到自家的车库里办起了一个小小的新时代算命咨询服务公司，然后还说服了全录(Xerox)、通用汽车公司(Chase Manhattan)和大通银行(GM)的董事长也加入了。

更不同寻常的是，这幅图景的创建人——乔治·考温，罗萨拉莫斯研究所前主任——是一个与新时代截然相反的人物。六十七岁的考温是一个说话温和、即将退休的人。他穿着高尔夫运动上衣，敞着毛衣，把自己弄得有点像特丽莎修女。他并不因为有领袖魅力而名声在外。在任何一个群体中，他总是站在一旁倾听的人。他当然也并没有因为雄辩的口才而闻名遐迩。任何人只要问他为什么要创建桑塔费研究所，总是会听到他的一番既精确又高度理性的关于二十一世纪的科学现状和抓住科学机会的必要性的谈论——就像是一篇完全可以在《科学》(Science)杂志上发表的严肃的专家评论。其实听者会慢慢认识到，考温有他自己的思维方式，他确实是一个热情而志向不移的人。他完全不把桑塔费看作是一桩怪事。他认为桑塔费所要达到的目的远比他本人、比罗萨拉莫斯、或任何其他导致桑塔费创立的偶然因素要重要得多。就此而言，也远比桑塔费研究所本身要重要得多。他常说，如果我们这次不能成功，二十年以后还有其他人会沿着这一思路从头做起。对考温来说，桑塔费是一个使命，是一个为整个科学界获得拯救和新生的契机。

曾经有一段时间，当然在现在看起来已经很久远了，一个理想主义的年轻科学家是完全有可能为了建立一个更美好的世界而投身于核武器的研制的。乔

治·考温从来没有为此而后悔过。“我这一辈子有过其它的考虑，”他说，“但为道德而后悔？从没有过。如果没有核武器，我们也许会因为生化武器而离毁灭更近。我怀疑，如果四十年代的许多事件不发生的话，最近五十年的历史对我们人类来说是否会更好。”

他说，确实，在四十年代的那些日子里，对核武器的研制几乎是出于道义的必要性。在二次大战期间，考温和他的科学家同事们是在和纳粹拼命竞争。当时纳粹仍然拥有一些世界上最杰出的物理学家，而且在炸弹设计上领先于美国——虽然这个假设后来被证实是错误的。“当时我们认为如果我们不能有所突破，希特勒就会研制出原子弹。那就完了。”考温说。

实际上，他在曼哈顿原子弹计划出台以前就整个儿地卷入了原子弹的研制工作。1941年秋天，他才二十一岁，还在家乡麻省武斯特(Worcester)理工学院化学系上大学一年级时，就参与了普林斯顿回旋加速器研制计划。当时那儿的物理学家们正在研究新发现的核子分裂过程、及其对一种叫铀-235的同位素的影响。考温原来打算在那儿能修一些物理学课程。但1941年12月7日，试验室突然改为一周七天工作制，他的这一打算就被无限期地推迟了。他说，当时美国确实非常担心德国人正在研制原子弹。物理学家们迫不及待地想知道这件事究竟是否可能。“而我们的研究结果对于决定铀究竟能不能产生连锁反应至关重要。”结果答案是肯定的。联邦政府突然发现非常需要考温先生效力。“化学与核物理学知识相互渗透的特殊学术背景，使我在核炸弹计划中的许多方面变成了一个被迫切需要的专家。”

从1942年到战争结束，考温一直在芝加哥大学的冶金学实验室工作。当时意大利物理学家尹利柯·弗米(Enrico Fermi)正在那个实验室负责建立第一个核反应堆的研究——核反应堆就是一堆能够证实可控的连锁反应的铀和石墨块。作为这个工作小组中资历最浅的成员，考温变得有点像个打杂的工人，从铸造铀金属、切削能够控制反应堆的反应速度的石墨块到任何其它事，凡需要他做的他都做。项目主管们因此就把他派往田纳西的橡树岭这类的地方。在橡树岭匆忙修建的核基地，他帮助工程师们准确地测算出他们究竟生产了多少钚元素。“那时我是个单身汉，所以他们把我派往全国各地。只要一发生瓶颈问题，我总是被列入有可能派去解决问题的人的名单中。”确实，考温是被筛选来的极少数被允许

在核武器研究计划中的不同部门穿梭往来的人之一。出于保密的需要，核武器研制各部门之间是严格封锁的。“我不知道他们为什么这么信任我，我喝酒喝得和别人一样多。”考温笑道。他至今仍然保留着那段时间的一个纪念品：一封从芝加哥人事部寄往伍斯特地方征兵处的信。这封信证明考温先生具有对赢得战争的胜利不可或缺的特殊技术，已经被总统亲自批准缓役。是否请他们不再将他征召入伍？

战争结束之后，美国科学家与希特勒的殊死搏斗变成了与苏联的你死我活的竞争。考温说，那是一段险恶的岁月。斯大林对东欧的控制、柏林墙的树立、继之而来的朝鲜战争——这一切使冷战者上去已经非常接近引发全面热战。据说苏联人正在研制自己的核武器。看起来，要想维持不甚稳定的美苏权力均衡，同时也是保卫民主和人类自由，唯一的道路只有继续改进美国人自己的核武器。这种紧迫感使考温在 1949 年 7 月又回到了罗萨拉莫斯。在这之前，他已经花了三年时间在匹兹堡的卡内基理工学院拿到了物理化学的博士学位。这不是一个无意识的选择。事实上，考温是在深思熟虑、并拷问自己的灵魂之后才做出了这一选择的。但这个选择几乎马上就被强化了。

考温回忆说，在他到达罗萨拉莫斯的一、两周之后，放射化学研究室主任来访。他用一种秘而不宣、又转弯抹角的口气问他，他的新实验室是否完全没有辐射污染。当考温给予了他肯定的回答后，考温和他实验室的设备马上就被征派去做一项极为紧急的、最高机密的分析工作。空气标本那天夜里就被送了过来。考温没有被告知这些空气标本是从哪里采集来的。但他能猜到，这是从靠近苏联边境的某处采集来的。当他和他的同事发现其中含有泄露机密的放射性微尘后，事情的真相就被揭示得无可回避了：苏联人已经试爆了他们自己的核炸弹。

“所以在这之后他们把我放到了华盛顿的这个小组。这是一个很大的转变。”这个秘密小组被称为贝瑟小组 (Bethe Panel)。第一任主持人是康奈尔大学的物理学家汉斯·贝瑟 (Hans Bethe)。实际上，它是由一群被召集来追踪苏联核武器发展的核专家组成的。考温当时三十岁。美国政府的高层领导人起初认为，被化学家侦测到的放射性微尘不可能意味侦测结果所明确表示的意思。这些官员认为，斯大林还需要好几年时间才能研制出苏联人自己的原子弹来，一定是苏联人的一个核反应堆爆炸了。“然而放射化学的好处是，它可以准确地告诉人们究竟

发生了什么。”考温说。核反应堆的放射性同位素的扩散与核弹爆炸的扩散是非常不同的。“我们费了许多口舌才使他们相信这一点。”那些年长的、较为明智的白宫领导人终于被迫接受了铁的事实。苏联的核炸弹以约瑟夫·斯大林的名字命名为“约-1号”。美苏之间的核军备竞赛就此拉开了帷幕。

考温说，事情就是这样。不，他并不想对参与核武器研制工作说抱歉。但反省那些年他确实有一个很大的遗憾：在他看来，科学界集体放弃了对自己所做的事应该负有的责任。

科学家当然不是从头开始就放弃了自己的责任，也不是完全放弃了自己的责任。1945年，一些参与了芝加哥曼哈顿计划的科学家发起了一场请愿，要求政府在无人居住的岛屿上试爆原子弹，不要往日本本土投掷原子弹。后来，在美国向日本的广岛和长崎扔下原子弹，致使战争结束之后，美国许多参与核武器研制计划的科学家开始形成了各种政治运动组织，游说政府对核武器的使用采取尽可能严格的控制——民间控制，而不是军事控制。那些年出现了《原子科学家期刊》(Bulletin of the Atomic Scientists)，这是一份专门刊登关于原子武器这种新形式的战争力量对社会与政治的影响的讨论的杂志。还出现了考温也参加的原子科学家联盟(The Federation of Atomic Scientists)，现在改称为美国科学家联盟(The Federation of American Scientists)这样的政治运动组织。“参与曼哈顿计划的科学家去华盛顿陈述自己的意见，得到了很认真的对待。”考温说。“在四十年代，当原子弹出现以后，物理学家被当成了奇迹的创造者。他们与麦克马洪议案(McMahon bill)的起草，与由此而创立的原子能源委员会(the Atomic Energy Commission)、以及将原子能源置于民间控制之下的思想有很大关系。”

“但是，这些努力并没有完全得到科学家应有的支持。”考温说。1946年7月，在麦克马洪议案被通过之后，科学家的这些活动基本上就销声匿迹了。他说，这也许是不可避免的。科学的文化与政治的文化不是很兼容。“去华盛顿提意见的科学家离开那儿的时候几乎都嚷受不了。”他说。“政治对他们是完全陌生的。科学家希望政策的制定要以逻辑和科学实验的事实为依据，但那也许只是虚幻之想。总之不管出于什么原因，科学研究人员很乐意地返回自己的实验室里去了，把战争留给了将军们来对付，把政治留给了政治家来处理。”考温说，在这样做

的同时，科学家们失去了一个施加自己的影响的机会，而这样的机会他们也许再也不会有了。

考温并没有为自己返回实验室的做法开脱，尽管实际上他比大多数人都更多地参与社会与政治活动。比如 1954 年，在麦卡锡（McCarthy）的反共政治迫害闹得最猖獗的时候，他成为罗萨拉莫斯科学家协会的主席，并与原子能源委员会主席刘易斯·施特劳斯频繁见面。当时麦卡锡这位来自威斯康星的议员正在尽力让每一个美国人相信，他们的国家已经到处都是共产主义分子。考温和他的同事们则抗议以反共为名的政治迫害，呼吁更大的信息自由，减少实验室的信息保密。他们还尽力为曼哈顿计划的前主任罗伯特·奥本海默（J. Robert Oppenheimer）辩护——虽然没有取得多大的成功。罗伯特·奥本海默甚至被吊销了安全许可证。理由是，他也许和曾在三十年代参加过共产党会议的一些人有牵连。

随着考温在贝瑟小组的工作（他在那儿工作了差不多三十年），他开始认识到，华盛顿是怎样的一个头脑简单的地方，头脑简单到让人心烦。他说，在二次大战结束后的日子里，美国从战前的孤立主义政策中脱颖而出，清醒地认识到军事力量之至关重要。但在接受这一教训之后，所有的官员除了发展军事力量之外就不再顾及其他事情了。他们的观点是，你必须抓住关键。“可我当时却觉得权力就像一个交响乐团，而我们有太多的人却只会拉大提琴。”

事实上，考温当时很沮丧地意识到，苏联人远比华盛顿懂得权力的复杂和声。“苏联人好像非常重视权力的知识感召力、以及权力在情感和思想意识层面的内容。当时我认为他们很重视权力的科学性。事实证明，我们以为他们只有十英尺高，但其实他们并不止十英尺高。当然我是从俄国人的视角和我们的视角的比较来看问题的。他们玩权力就好像是在下一盘大棋，下出多着棋，而我们玩权力好像是在做某种只有单一衡量标准的游戏。”

考温说，有一度他甚至怀疑，这是科学家没有能尽到自己的责任的另一个领域。“虽然那时我的意识不如现在这样清晰，但我感到，科学家应该能够用更加全面的眼光来看待战后世界的本质。”但事实却是，他们没做到这一点。更确切地说，他自己也没能够这样做，因为那还不是时候。自 1949 年 8 月苏联人爆炸了“约-1 号”原子弹后，罗萨拉莫斯开足马力投入了研制威力更大的热核武器：氢弹。尔后，在 1952 年秋天，当第一颗氢弹实验成功后，罗萨拉莫斯的实验室

继续全速前进，研制更小、更轻、更可靠、更易于操作的氢弹。考温说，在朝鲜战争和与苏联在欧洲持续对抗的背景下，“大家都觉得，核武器在权力竞争中起着使天平倾倒向哪一边的作用。核武器的研制因此变成了一项极端重要的使命。”

最重要的是，考温在罗萨拉莫斯越来越多地承担了管理上的责任。工作的繁重，使他没有太多时间从事科学工作。作为实验室的负责人，他从事科学实验的时间减少到只能利用周末。“所以我在科学工作上没有太大的成就。”他不无感伤地说。

但权力和责任的问题始终困扰着他。1982 年，当考温从罗萨拉莫斯研究中心主任的位置上退下来，并接受了白宫科学顾问委员会（the White House Science Council）顾问一职以后，权力和责任的问题就完全占领了他的脑海，他甚至预见到科学家获得第二次机会的可能。

如果没有别的例子可以说明的话，那么，考温参加的白宫科学顾问委员会的会议让考温生动地回忆起为什么 1949 年那些研究人员们会如此渴望逃回到自己的实验室里去。他和他的同僚们正襟危坐于会议室：一群威严的科学家围坐在华盛顿新行政办公大楼的会议桌前，由总统科学顾问乔治（杰伊）·凯华兹 [George (Jay) Keyworth II] 提出一系列的问题，征求各位的评述。乔治是前一年被提升到总统科学顾问这个位置上的。在这之前，他是罗萨拉莫斯的年轻的部门主持人，在考温手下工作。考温不得不对自己承认，他对所提出的问题无从评述。

考温说：“那时对艾滋病的议论还不多，但大家已经感觉到一种突然而至的警觉。艾滋病是每次会议的一个议题。便坦白地说，对如何面对这个问题我感到非常困惑。”艾滋病是关于公众健康的问题？还是一个关于道德的问题？它究竟是个什么性质的问题？当时对此的解释还不是很明确。

“另一个议题是关于有人操纵的太空飞行与无人操纵的太空探险的争论。他们听说议会不打算投票通过无人操纵太空探险的方案。但我不知道这是否是真的。这与其说是个科学问题，还不如说更是个政治问题。”

然后就是里根总统的“星球大战”战略防务提案。这是一个用基于太空的盾，来保护美国免受大规模核导弹袭击的设想。但这在技术上可行吗？实施起来会不会导致美国经济走向崩溃呢？即使星球大战计划能够被实施，但这样做明智吗？

这样做难道不会动摇权力均衡的现状，而导致世界进入新一轮毁灭性的军备竞赛？

还有核电的问题，又该如何解释呢？在核反应堆熔化的危险和处理核垃圾的困难，与确凿无疑是由燃烧化石燃料而造成的温室效应之间，你又该如何平衡呢？

诸如此类的问题没完没了。考温发现这段时间的经历令人非常沮丧。他说：“这些在科学、政策、经济、环境，甚至宗教和道德方面有着相互关联的问题，给了我们很具挑战意味的教训。”然而他发现自己无能提出具有参考价值的建议来。美国科学顾问委员会的其他学者型顾问好像也提不出太好的意见来。他们又怎么能提得出来呢？这些问题只有具有很广泛知识的专家才能回答。而他们中间的大多数人，作为科学家和行政官员，都是以毕生精力成为某一个方面的专家的人。科学工作需要合作，这是科学的文化，这一文化要求他们成为某一个方面的专家。

考温说：“通往诺贝尔奖的辉煌殿堂通常是由还原论的思维取道的。”也就是把世界分解得尽可能小、尽可能简单。你为一系列或多或少理想化了的问题寻找解题的方案，但却因此背离了真实世界，把问题限制到你能发现解决办法的地步。

“这就造成了科学上越来越多的碎裂片。而真实的世界却要求我们——虽然我讨厌这个词——用更加整体的眼光去看问题。任何事情都会影响到其它事情，你必须了解事情的整个关联网。”

更令他沮丧的是，他感觉到，到了年轻一代科学家那里，事情变得越发糟糕了。就往来于罗萨拉莫斯的年轻科学家来说，他们既聪明绝顶又生机勃勃，但他们在延续科学的文化，这种文化一直在强行把科学智慧分割成越来越多的互不相干的碎片。

从科研机构来看（与政治正好相对立），大学保守得令人无法相信。年轻的博士们不敢打破传统。他们不得不把他们最好的时光耗费在拼命追求在系里谋到一个终身教职。这意味着，他们最好从事那些会得到终身教授委员会认可的研究。否则，他们将会听到这样的话：“你与生化系的学者们干得很努力，但你怎么表明你是物理学这儿的学术带头人呢？”而年岁大一些的研究人员不得不一睁开眼睛就拼命去争取研究经费。这意味着，他们不得不把自己的研究计划归整到让基

金会可以认同的范畴。否则，他们就会听到这样的话：“乔，你的主意非常好，但糟糕的是，你的研究计划不属于我们这个部门管。”每个人都必须争取使自己的论文被权威的学术刊物接受和发表，而这些权威的学术刊物几乎只登载属于被认可的领域的论文。

考温说，就这样几年折腾下来，强制性的狭隘视野变成了一种不再被人们所意识的本能。他的经验告诉他，罗萨拉莫斯的研究人员越是沉湎于学术世界，就越是难以让他们参与团队工作。“我已经与这种状况抗争了三十年了。”他叹道。

然而，当他开始认真思考这个问题时，他感到，最令人沮丧的是这种碎裂的过程对科学整体的侵害。传统学科已经顽固和相互孤立得好像要自己窒息自己。你视野所及，到处都有太多的科学良机，但太多的科学工作者似乎对这些漠然无视。

考温想，如果需要例子的话，只需要看看现在正敞开着的机会——唔，他现在还真无法给这件事想出一个好的名称来。但如果他在罗萨拉莫斯的所见所闻有任何启示的话，那么，有某件大事正在酝酿之中。在过去的十年中，他越来越感到，传统的还原论的思维已经走进了死胡同，甚至就连一些核心物理学家也开始对忽视现实世界复杂性的数学式的抽象感到厌烦。他们好像正在有意无意地探索某种新的方法。在这个过程中，他们正在以他们过去这些年，甚至这几个世纪都从未有过的方式跨越传统的界线。

但具有讽刺意味的是，他们的灵感似乎是来自于分子生物学。这是大多数人都不会认为一个武器实验室会感兴趣的领域。但考温说，物理学家从一开始就深深地卷入了分子生物学。分子生物学领域中的许多开拓者其实刚开始都是物理学家。他们转入分子生物学的一个很大的驱动力来自于一本薄薄的书，这本书的名字叫《生命是什么？》(What Is Life)。该书出版于 1944 年，在这本集中，奥地利物理学家、量子力学的发明人之一欧文·薛定谔(Erwin Schrodinger)对生命的物理和化学基础提出了一系列富有挑战意味的思索。(薛定谔逃出希特勒的魔掌以后，二次大战期间一直安全地隐藏在都柏林。)深受这本书影响的人之一是弗朗克斯·克拉克(Francis Crick)。他在 1953 年与詹姆斯·华生(James Watson)一起，利用从 X 光结晶中提取出来的数据推演出 DNA 分子结构。X 光结晶是早在几十年前物理学家发展出来的一种亚微观的想象技术。事实上，克拉克

起初是学实验物理学出身的。五十年代初，匈牙利理论物理学家、宇宙起源大爆炸理论的最初提出者之一乔治·加莫(George Gamow)也开始被基因密码结构所深深吸引了，他鼓动了更多的物理学家投入了这个领域的研究。考温说：“我听到的第一堂关于生物化学的真正有见解的课就是加莫上的。”

他说，从此分子生物学一直深深吸引着他。特别是七十年代初，DNA 重组技术的发现使生物学几乎能够一个分子一个分子地分析和操纵生命的形式。所以 1978 年当考温成为实验室研究中心主持人以后，他就立即开始支持在生化领域的一个重要研究计划。这项计划在形式上是研究放射线对细胞的伤害，但其实是使罗沙拉莫斯的物理学家在更广阔的范围内介入分子生物学的研究。他回忆说，那是一个极好的机会。在七十年代，罗沙拉莫斯在哈罗德·阿基纽(Harold Agnew)的主持下扩大了一倍，而且向更多的非传统的和应用领域开放。考温对分子生物学的强调正好适宜于当时的情况。结果，他支持的那个项目对那儿的人们的思想，特别是对他的思想产生了极为重大的影响。

考温说：“从定义上我们差不多可以这样说，物理科学是一门以概念的优雅和分析的简单为特点的学科。所以你就会以此为优点而看不到其它方面。”确实，物理学家对社会学和心理学这些致力于探索真实世界的复杂性的“软科学”的轻蔑是众所周知的。但分子生物学出现了，它是对复杂到不可思议的活系统的描述。这些有生命的系统受着深层规律的支配。考温说：“一旦你和生物学交上了手，你就放弃了优雅，放弃了简单，你被搅得乱七八糟。但从这开始，渗入经济学和社会问题就变得容易得多了。一旦你已经沉入了一半，你也许就此开始游泳。”

与此同时，科学家也开始越来越多地对复杂系统进行思考，因为他们现在已经能够做这种思考了。当你用笔和纸来解答数学方程式时，你能够对付多少变量，同时又不至于陷进去出不来？三个？或四个？但当你具有了足够的计算机能力，你可以爱对付多少变量就对付多少变量。到八十年代初，计算机已经非常普及了。个人电脑大量出现，科学家们纷纷安装上了台式高效绘图工作站，大企业的实验室和国家实验室如雨后春笋般地冒了出来。突然间，含有无数变量的无数个方程式看起来没有那么繁杂了。比如，从救火皮带般长的数据中提取信息不显得那么不可能了，数行数行的数字和几英里长的数据带可以被转化成以颜色来表示的农作物收成图、或埋在数英里深的石头下的蕴藏石油的底层带。“计算机是非常好

的记帐机器。”考温用很轻描淡写的低调说。

但计算机能做的远远不止记帐。也许经过编程以后，计算机可以变成完全独立的世界。科学家们可以在计算机上做各种方式的探索，从而大大开阔他们对真实世界的理解。事实上，到了八十年代，计算机的模拟功能就已经变得非常强大了，有些人甚至已经开始谈论计算机是介于理论与实验之间的“第三种形式的科学”。比如，计算机模拟的雷暴雨可以像是一种理论，因为除了描述闪电、风声和水蒸汽声的方程式以外，计算机里不存在任何别的东西。但这种模拟同时也像是一种实验，因为这些方程式太复杂了，根本不可能靠人力来解，所以科学家们在自己的计算机上观察模拟雷暴雨时，可以看见他们的方程式以他们也许根本不可能预测到的方式展开。有时，甚至最简单的方程式也能产生令人吃惊的行为效果。雷暴雨的数学实际上描述了一阵阵空气如何相互推挤、每一滴水蒸汽如何凝结、又如何蒸发，以及其他类似的小规模发生的事。这里没有清晰明确的论述，诸如“一柱上升的气流和雨水冻结成冰雹”，或“一股寒冷而潮湿的下降气流突然穿透了云层底部，降落到地面。”但当计算机用几英里长的空间和数小时的时间整合了这些方程式，便产生了计算机所想得到的效果。更有甚者，正是这一事实使科学家能够用他们的计算机模式来进行实验，而这种实验在真实世界里是无法进行的。究竟是什么导致气流上升或下降？当气温和湿度改变时，它们又会发生什么样的变化？什么是真正影响雷暴雨的动力的因素？什么不是？在另外的雷暴雨中，相同的因素会同样重要吗？

考温说，到了八十年代初，这种数据化的实验已经变得非常普遍了。从新机型的飞行效果测试、汹涌流入黑洞的星际气流、到大爆炸后银河系的形成——至少在物理科学家中，计算机模拟的整个概念已经完全被接受了。“所以你可以开始琢磨对付非常复杂的系统的事儿了。”

但是，复杂的魅力比这还要来得深刻。部分是因为复杂系统可以被计算机模拟，部分是因为新的数学认识。到八十年代初，科学家开始认识到，许多混乱而复杂的系统可以被一种强大的理论描述成“非线性动力学”(nonlineardynamics)。在这个过程中，科学家们被迫面对一个令他们窘困的事实：整体真的可以大于部分相加的总和。

对现在的大多数人来说，这一事实已是显而易见了，但对当时的物理学家们

来说却是非常令他们窘困的，因为物理学家们花费了三百年时间来热爱线性系统。在这个系统中，整体正好等于所有部分的相加。公平地说，他们有很多理由这么认为。如果在一个系统中，整体正好等于所有部分的相加，则每一个部分都可以自由地做自己的事，而不用去管别处发生了什么。这样相对比较容易做数学分析。（“线性”这个词指的是，如果你把方程式在图表纸上画出来，绘制出来的会是一条直线。）另外，大自然中的许多事情都是线性运作的。声音是一个线性系统，这就是为什么双簧管和弦乐器合奏，你却可以将它们单独地分辨出来。因为音波相互混合，但仍然能保持各自的特点。光线也是一个线性系统，这就是为什么你在大太阳天也可以看到马路对面通行 / 禁止通行的指示灯，因为从指示灯射出来的光线进入你的眼帘不会被从高处照射下来的阳光粉碎于地面。各种光线独立运作、相互穿越，仿佛什么也不存在似的。在某些方面，甚至连经济也是一个线性系统，比方小经济单位可以独立运作。又比如，某人在街头杂货店买了一张报纸，这对你去超级市场买一管牙膏的决定不会有什么影响。

然而，大自然中的许多事情确实不是线性的，这包括使这个世界充满趣味的大多数事情。我们的大脑肯定不是线性的系统：虽然双簧管的声音和弦乐的声音独立地进入你的耳朵，但这两种乐器的和声在你情感上产生的影响却远远大于这两种乐器的单独作用。（这就是为什么我们有交响乐团的原因。）经济也并非真是线性系统。数百万的个人做出的买或不买的决定可以相互影响，从而导致经济繁荣或萧条。而经济气候反过来又会影响到导致这种气候的购买力。确实，除了非常简单的物理系统外，世界上几乎所有的事情、所有的人都被裹罩在一张充满刺激、限制和相互关系的巨大的非线性大网之中。一个地方小小的变化会导致其它所有地方的震荡，就像 T. S. 艾略特所说的那样，我们无法不扰乱宇宙。整体几乎永远是远远大于部分的总和。用数学来表示这个特征——假如这样的系统可以用数学来表示的话——则这就是个非线性的方程式：画出来的图线是弯曲的。

非线性方程式为人工所难以解开是出了名的。这就是为什么科学家们这么久以来一直在回避这个问题的原因。但这恰恰是计算机能够介入之处。在五十年代和六十年代，科学家们一开始玩上计算机就意识到，计算机不是很介意线性与非线性相对的问题。计算机只管努力运算，给出答案。当科学家利用计算机的这一优势，用计算机功能来解越来越多的非线性方程式时，他们发现了他们在对付线

性系统时从未想象到的奇怪而绝妙的情形。比如，在量子场理论中，通过一条浅狭沟渠的水波会对某种微妙的动力产生深刻的关联：它们都是一种叫做“孤粒子”的孤立而独立动作的能量脉冲。木星上的大红斑(The Great Red Spot on Jupiter)也许是另一个这样的孤粒子。它是一个比地球还要大的旋转飓风，已经独立存在了至少四百年。

物理学家伊尔亚·普里戈金声大张旗鼓地宣扬的自组系统也是被非线性动力支配的系统。确实，致使一锅汤沸腾的自组运动的动力被证实与其它非线性形态非常相似，比如像斑马身上的斑条，或蝴蝶翅膀上的斑点。但最令人吃惊的是被称为混沌的非线性现象。在人类的日常活动中，没有人会因为听说这儿发生的一件小事会对那儿发生巨大影响而吃惊。但是，当物理学家开始在他们的学科领域对非线性系统给予高度重视时，他们才开始认识到，支配非线性系统的规律有多么深奥。产生风流和潮气的方程式看上去极其简单。比如，研究人员现在才认识到，德克萨斯州一只蝴蝶翅膀的扇动，一个星期以后会影响到海地的一场雷暴雨的走向。或者，蝴蝶翅膀扇动朝左一毫米也许会整个改变雷暴雨的方向。这一个又一个的例子都表明了一个相同的意思：即一切都是相互关联的，这样的关联敏感到令人不可思议的地步。微小的不可测性不会总是很微小。在适当的条件下，最小的不确定性可以发展到令整个系统的前景完全不可预测——或用另一个词来形容：混沌。

反而言之，研究人员也开始认识到，即使是一些很简单的系统也会产生丰富到令人震惊的行为模式。所有这些只需要有一点点非线性因素。比如说，从一个漏水的水龙头滴下来的滴答滴答的滴水声，可能会像节奏器发出的节拍一样规律得让人发疯。但如果你不去理会它，让水滴的流速稍稍加快一点儿，水滴立刻就会变得大一滴、小一滴、大一滴、小一滴地往下滴。如果你还是不去理会，让水滴流速再加快一点儿，水流速度很快就会成倍增加，先是四滴一个序列，然后是八滴、十六滴一个序列，一直这样下去。最终，水滴的序列变得极为复杂，以致于水滴似乎是随机地滴下来——混沌再次出现了。这种不断增加的复杂性，在果蝇繁殖的数目变化中、在汹涌澎湃的水流中、或在任何领域中都可以看到。

物理学家感到难堪是毫不奇怪的。他们当然知道在量子力学、黑洞这类理论里有些古怪的现象。自牛顿时代以来的三百年间，他们和他们的先辈们已经习惯

了把日常世界看作是一个受着他们非常能够理解的规律的支配。这个世界是一个本质上很紧凑的、可以预测的地方。而现在看来，仿佛这三百年来他们一直是住在一个被废弃的小孤岛上，对周围的世界漠然无视。考温说：“当你一旦离开线性近似法，你就开始航行在一个非常广阔的海洋上了。”

罗沙拉莫斯正巧是这样一个近乎理想的从事非线性研究的环境。这不仅是因为自五十年代以来，罗沙拉莫斯实验室一直在计算机技术上处于领先地位，同时也因为那儿的研究人员从实验室一创立就开始探索非线性问题了。比如对高能物理学、流体力学、核聚变、热核冲击波等问题的研究。事实上，到了七十年代初，事情已经很清楚：许多非线性问题从深层次上来说都是同样的问题，它们都有同样的数学结构。所以，只要人们对这些问题一并进行研究，明显就会节省很多力气。结果在罗沙拉莫斯理论小组的热情支持下，小组内部出台了一个非线性科学方案。这个方案最终变成了一个完全独立运作的非线性系统研究中心。

然而，虽然分子生物学、计算机模拟和非线性科学作为单个领域都非常引人入胜，但考温总怀疑这仅仅只是个开始。他觉得在这些领域之下有一个统一的规律，这一统一性规律最终不仅囊括物理化学，也囊括生物学、信息处理、经济学、政治科学，以及人类生活的每一个方面。在他的脑海里，这一统一性规律的概念是一个近乎中世纪式的学术。他想，如果这种统一性真的存在，则我们将能够认识到，这是一个在生物科学和物理科学之间只有微小区别的世界，或像考温曾经说的那样，在科学和历史或哲学之间“整个知识的结构天衣无缝”。也许知识会重新变成这样。

对考温来说，现在似乎是一个绝妙的机会。所以为什么大学里的科学家不扑向这个方向呢？当然，在有些大学里，在某种程度上科学家们已经这样做了。但他所寻找的真正宽广的思维却似乎掉入了裂缝。就这种宏观思维的本质而言，任何一个大学科系都力所不及。确实，大学不乏“交叉学科研究所”，但就考温所见而言，这些研究所无非是一群偶尔过来共用一个办公室的人们。教授和学生仍然要效忠于他们自己的科系，因为他们自己的科系有权授予学位、终身教职和决定升迁。考温认为，如果由大学自由发展，那至少再过三十年大学也不会开始对复杂系统的研究。

不幸的是，罗沙拉莫斯似乎也不是个理想的研究复杂系统的地方。这很糟糕。

通常，武器研究所是一个比大学要理想得多的从事多学科研究的地方。这是一个使访问学者们常常感到非常吃惊的事实。但罗萨拉莫斯实验室缺乏经费。曼哈顿计划始于一个特殊的挑战——制造原子弹——这个计划把科学家从每一个相关领域召集到一起，形成一个团队，共同来应付这个挑战。这里有一支被公认的出类拔萃的队伍：罗伯特·奥本海默、伊利柯·弗米、尼尔斯·波尔 (Niels Bohr)、约翰·冯·诺意曼 (John von Neumann)、汉斯·贝瑟、理查德·费曼 (Richard Feynman)、尤金·维格纳 (Eugene Wigner)。曾有一位观察家把这支队伍称为自古希腊以来最伟大的智者的集结。自从把这些优秀人才集结在一起后，实验室就以发展核武器为研究领域。实验室管理的重要工作就是要确保让恰当的专家们能够相互交流。“我有时觉得自己就像是一个媒人。”考温说。

唯一的问题是，考温宏大的学科整合方案正好不是实验室的基本任务。确实，考温的想法与核武器的发展根本就挨不上边。而如果研究不属于实验室的使命之内的课题，几乎没有可能获得项目资金。当然，实验室还是会做一点复杂理论的研究，就像他们一直在做的那样。但这样做进展不会太大。

不，这样不行。他想，只有一个办法。考温开始想象创建一个新型的独立机构。最理想的方案是，这个机构能够同时具备两个世界的长处：既有大学的广博，又能保持罗萨拉莫斯融合不同学科的能力。但如果可能的话，这个机构最好靠近罗萨拉莫斯，这样就可以共享实验室的人力和计算机设备。假设这个地方是距罗萨拉莫斯三十五英里的桑塔费这个离得最近的城市。但不管这个机构设置在哪儿，它都必须是一个能够吸引最优秀的科学家的地方——那些在自己的研究领域中真正知道自己在说些什么的人。这个机构要能够为他们提供远比通常更广阔的学科内容。这个机构应该是这样一个地方：在这里，资深学者们可以探究自己还不成熟的想法而不被同事们所讥笑，而最优秀的年轻科学家们可以和世界级的大师们一块儿工作，使他们满载而归。

总之，这个机构应该是一个培养自二次世界大战后已经非常少见的一种科学家的地方：“培养二十一世纪的文艺复兴式人物。他们从科学出发，但却能够面对混沌无序的现实世界，面对一个并不优雅，科学尚未真正研究到的世界。”

天真吗？当然，但考温觉得，如果他能把这个惊人的科学挑战的前景描述出来，说服其他人，这个想法也许能够实现。他自忖自问：“应该向八十年代和九

十年代优秀的科学家灌输什么样的一种科学呢？”

而且，谁会愿意听他说呢？谁有这样的神通能将这个想法付诸实现呢？有一天在华盛顿，他尝试着对科学顾问杰伊·凯华兹和他的同僚，科学顾问委员会委员，惠普公司创办人之一，戴维·派卡德（David Packard）讲了他的想法。令他吃惊的是，他们没有笑话他。事实上，他们两个人都很支持他。所以在 1983 年春天，考温决定把这个议题带上罗沙拉莫斯的每周中餐讨论会上交由资深研究员们讨论。

结果他们都喜欢他的这个主意。

罗沙拉莫斯的资深研究员们

在外人看来，应该很容易做出解聘这些资深研究员的决定。他们是一帮老家伙，过着悠闲的日子，薪水却高到荒唐的地步。从表面上，情况正如人们看上去的那样。这个资深研究员小组由六名像考温这样长期在罗沙拉莫斯效力的成员组成。这些人对罗沙拉莫斯实验室做出了杰出的贡献，因而被聘为实验室的资深研究员。他们不用负责任何具体的行政事务，也不用忙忙碌碌地周旋于官场。他们作为一个小组的唯一工作就是每周一次在咖啡馆聚头，偶尔就各种政策问题给实验室主任提出些参考意见。

但事实上，这些资深研究员都是些十分活跃的人物，这些人往往会在获得一个新职位时说：“感谢上帝，我终于能够真正干点什么了。”而且，由于他们都在某一段时期担当过罗沙拉莫斯实验室的重要行政职务，所以不管实验室的现任主任爱不爱听，他们都不会怯于告诉他应该怎么干。所以当考温对他们说出自己想成立一个研究机构的想法，想从他们这儿得到建议和支持时，他得到了令人满意的回应。

比如像彼特·卡罗瑟斯（Pete Carruthers），立刻就与考温的想法一拍即合：他们都认为某种新思想正在萌芽之中。他认为这个机会已经在叩我们的大门了。不修边幅，脸上总是挂着嘲讽的卡罗瑟斯对“复杂”系统的研究十分热衷。他宣称，复杂性理论是“科学的下一个主要推动力”。他有理由这么认为。他 1973 年从康奈尔大学来到罗沙拉莫斯，担任理论部的主持人。他是在由考温负责的人

才招聘委员会的推荐下进入罗沙拉莫斯的。他来了后新雇用了将近一百名研究人员，成立了六个新的研究小组，而且是在实验室经费走下坡路的情况下。1974年，在他的坚持下招聘了几个狂妄无羁的年轻人来从事那时还是一个朦胧不清的分支学科，非线性动力学。[卡罗瑟斯说，当时他的副手迈克·西蒙斯(Mike Simmons)问他：“我拿什么钱来付他们的薪水？到别处给他们找钱去吧。”]正是在卡罗瑟斯的领导下，非线性动力学这个分支才得以迅速发展，罗沙拉莫斯也随之成为世界上研究后来被称之为混沌理论的中心。所以如果考温的想法是基于非线性动力学的，卡罗瑟斯会非常乐于帮助他。

另一个资深研究员，天文物理学家斯特林·科尔盖塔(Stirling Colgate)出于另外的理由而表示热烈支持考温的想法。“我们需要一切能够组织和加强美国知识分子力量的事情。”他说。尽管罗沙拉莫斯尽了一切力量对外部世界开放，但它仍然是一个科学异地，以其绚丽的孤独高居于现实社会之上。科尔盖塔在距罗沙拉莫斯二百英里的索考罗新墨西哥采矿及技术研究所担任了十年所长，他非常清楚罗沙拉莫斯之外的新墨西哥州是一个美丽而落后的地方。自四十年代以来，联邦政府在这个地区投入了数十亿美元，对这个地区的学校和工业基地起到的作用小到令人沮丧。这个州最好的大学的水平也很一般。这主要是因为高科技企业家如果想移出拥挤不堪的加州，会直接越过里奥格兰德河谷，趋向奥斯丁和东部。科尔盖塔与卡罗瑟斯最近正在致力于大力提升新墨西哥大学体系的水平，但他们很快就因为无望而放弃了。这个州实在是太穷了。所以考温的研究所计划在他看来就像是最后的、也是最可能的希望。他称：“任何能够提高这个州知识水准的事情，都不但关系到我们个人的利益，实验室的利益，而且更关系到我们国家的利益。”

资深研究员尼克·麦特罗博利斯(Nick Metropolis)喜欢考温的想法，是因为考温强调了计算机的重要性。他是从他的角度出发的。麦特罗博利斯在罗沙拉莫斯几乎就是计算机先生。正是他在四十年代指导了实验室第一台计算机的建造。这台计算机的建造基于普林斯顿高级研究所神奇的匈牙利裔数学家约翰·冯·诺意曼的设计创意。冯·诺曼也是罗沙拉莫斯的顾问和常客。(这第一台计算机的名称 MANIAC，是由数学分析器、积分仪、计算器、计算机的每一个词的第一个字母组合而来。)正是麦特罗博利斯和波兰数学家斯坦尼斯劳斯·乌

兰 (Stanislaus Ulam) 一起创导了计算机模拟技术。麦特罗博利斯的另一个重大贡献, 是使罗萨拉莫斯拥有了地球上功能最大、速度最快的超级计算机。

但麦特罗博利斯感到, 实验室目前并不是很富创造性, 即使是在计算机领域。他和麻省理工学院的数学家, 常来罗萨拉莫斯小住的访问研究员江卡罗·罗塔 (Gian-Carlo Rota) 都向同桌的资深研究员们指出, 计算机科学正处于与生物学和非线性科学同样的动荡之中。他说, 计算机硬件设计正在发生革命性的变化。一次只能运算一步的计算机的运行速度已经到头了, 硬件设计者们正在设计一次能够同时做几百、几千、甚至几百万次运算的计算机。这是一件非常好的事情: 任何真想认真研究考温所说的那种复杂问题的人都会需要这样的计算机。

但计算机科学的作用还远远不止于此。罗塔觉得, 计算机的作用, 尤其表现在它可以一直伸延向对人脑的研究——他认为人脑做思考与计算机处理信息在本质上基本上是一回事。他所说的被称为认知科学 (cognitive science) 的领域, 正是一个热门学科, 而且正在变得越来越热门。如果处理得当的话, 这门学科能够将研究神经网络连接的脑神经科学家、研究高级思维和推理的每一秒钟过程的心理学家、以及力图用计算机来模仿人脑思维过程的人工智能研究人员的研究结果融合起来, 甚至还能够综合研究人类语言结果的语言学家和研究人类文化的人类科学家的研究成果。

罗塔和麦特罗博利斯告诉考温, 为这样一个跨学科的课题成立地的研究机构是很值得的。

另一个来访者大卫·潘恩斯 (David Pines) 应麦特罗博利斯的邀请, 也于 1983 年盛暑开始参加这个讨论。潘恩斯是伊利诺斯大学理论物理学家、《现代物理学评论》(Reviews of Modern Physics) 的主编、罗萨拉莫斯理论物理学部咨询委员会主席。他也成为热烈响应考温关于宏伟的科学整合主张的人。自从五十年代做博士论文开始, 他的许多研究就着重于创造性地理解由许多粒子组成的系统的“集成”行为。他的研究包括从对某种大量的原子核粒子的震动形式到液态氦的量子流动。潘恩斯还公开推测说, 这类分析也许会使我们更好地理解人类处于组织和社会之中的群体行为。“我出于知识上的偏好而赞成考温的设想。”他说。潘恩斯是考温关于成立一个新的科研机构的设想的热情支持者。而且, 作为伊利诺斯高级研究所的创始人、主任和科罗拉多州阿斯本物理学中心的创始人之一,

他在这一方面还颇有一些经验。“就照你的计划干吧。”他告诉考温。他已经等不及地想参与创建这个机构了。“我总是觉得，将非常强干的科学家们聚在一起讨论新问题是一件非常有趣的事。成立一个新的科研机构 and 写一篇优秀的科学论文同样有意思。”他说。

就这样，这些资深研究员们兴致勃勃地讨论成立机构的事，有时会神侃到忘乎所以的地步。比如有一天，当他们想到他们可能会创建一个“新雅典”，一个可以和产生了苏格拉底、柏拉图、亚里士多德的城邦国家相媲美的知识分子探索真理的中心时，大家都变得激动万分。但转入更为现实的讨论之后，他们在无数的问题上发生了争论。建立这个机构需要多大的地方？应该招收多少学生？或是否应该招收学生？它应该离罗萨拉莫斯多近？需要建立永久性的学部吗？或人们只是轮流地来这个机构，然后又返回自己所属的研究单位？就这样，虽然他们自己还没有完全认识到，但这个想象中的研究机构已经逐渐在他们的头脑中越来越清晰了。

但不幸的是，唯一的问题是每个人都有不同的主张。“每个星期，我们谈着谈着就又回到了第一个基点上，就这样翻来复去没完没了。”考温叹道。

最关键的、也是最根本的问题是：这个研究机构究竟应该研究些什么？

麦特罗博利斯和罗塔持同一种观点。他们认为这个研究机构应该完全致力于计算机科学。他们说，一个宏伟的科学“整合”的想法固然很好，但如果坐在这里的人不能够明确地定义这种整合，又怎么能够期望有人会来为此投资四亿美元？创建这个机构需要的投资规模，大约相当于创建纽约的洛克菲勒研究所。当然，在任何情况下，筹到这么大一笔款都不会很容易。但起码，如果你着重于对信息处理和认知科学的研究的话，至少可以囊括许多考温提出的研究方面，而且说不定还能从那些新崛起的、靠计算机发迹的年轻亿万富翁手里募到一笔款项呢。

但卡罗瑟斯、潘恩斯和其他大多数人对此持不同意见。他们认为，计算机固然不错。麦特罗博利斯和罗塔在募资这一点上也有他们的道理。但，见它的鬼，难道我们要创建另一个计算机中心？创建计算机中心难道真是个能使所有人为之狂热的主意？创建这个机构的意义应该远远不止这些，即使他们现在还无法准确地想出它究竟应该是什么样的。而这正是问题之所在。正如资深研究员达拉

夫·奈格尔 (Darraph Nagle) 所指出的那样：“我们无法非常清晰地提供一个不同的替代方案。”人人都觉得考温是对的，某种新思想正在酝酿之中。但除了含糊地谈及“新的思维方式”之外，没人能够说明它到底是什么。

考温在这个问题上一直保持低调。他很清楚自己的初衷是什么。他私下把这个机构想成是一个“生存艺术研究所”。对他来说，这意味着，这个项目可以尽其所能地广博，尽其所能地自由。但与此同时，他相信，达成对这个研究所方向的共识，远比筹集资金或其它任何具体事情要重要得多。他觉得，如果这个研究所只是由一个人唱独角戏，那它是不会取得任何进展的。三十年的行政管理经验使他确信，要促成这类事情的成功，唯一的方法就是要激发起许多人对它的热情。

“你必须让那些十分优秀的人相信我们要做的是一件非常重要的事。顺便提一句，我不是在谈论民主。我说的是要让百分之零点五最优秀的人杰，让精英阶层相信你。一旦你成功地获得了精英们的认同，钱的问题嘛，嗯，虽然不会很容易解决，但也只是比较小的问题。”

这就像是一个慢动作的争辩，每个人都在超负荷地从事各方面的研究。(特别是考温，正沉浸在探测太阳中微子的实验。太阳中微子是从太阳内核中发出来的、几乎看不见的粒子。)但争辩不能永久持续下去。1983年8月17日，考温把资深研究员们召集到实验室行政大楼第四层的会议室里，向大家建议说，现在是认真开始动手的时候了。他的一些朋友谈及可以提供五十到一百公顷土地，作为研究所的所址。但他的朋友希望，最起码让他知道这个研究所是干什么的。

但争辩还是没有任何进展。大家友好而又坚定地分成两派。到会议结束时，大家的意见并没有比以前更趋于统一。也正好，曾经答应捐赠土地的夫妇几个月后离了婚，原来的捐地计划被取消了。考温不得不开始怀疑这件事是否会取得任何进展。

马瑞

真正打破僵局的人是马瑞。五十五岁的加州理工学院教授马瑞·盖尔曼是粒子物理学的不羁之人。

盖尔曼在8月17日会议的前一周给考温打电话说，潘恩斯告诉了他关于创

立一个研究机构的设想。盖尔曼认为这主意真是太棒了。他说，他这一辈子都想做类似的事。他希望研究诸如古代文明兴衰、以及现代文明的长久持续性这样跨学科范畴的、涉猎广泛的问题。但他在加州理工学院的努力没有取得任何进展。所以，下一次他来罗萨拉莫斯时能否参加关于创立研究机构的讨论？（盖尔曼自五十年代以来一直是实验室的顾问和常客。）

考温简直不敢相信自己的好运。“请一定来。”他说。盖尔曼无疑属于那百分之零点五的精华人物。在纽约市出生和长大的盖尔曼戴着黑边眼镜，一头白发、却蓄着平头，看上去像个天真无邪的亨利·基辛格。他性格急躁、聪明过人、魅力四射，有着滔滔不绝的辩才，外加他那近乎于傲慢的自信。事实上，不止一个人觉得他令人无法忍受。他这一生都是班上最优秀的孩子。加州理工学院已故的物理学家，狂放不羁的理查德·费曼写过一本畅销的回忆录，题目叫作《别闹了，费曼先生》，据说盖尔曼会把他自己的回忆录叫作《你又对了，马瑞》。难得碰到不能随他意的时候，他会表现得非常孩子气：他的同事们发现他会下嘴唇往外撅，看起来简直就像是在咂嘴生气。

尽管如此，马瑞·盖尔曼仍然不失为二十世纪的一位科学大师。五十年代初，当他作为一个年轻的博士初涉物理学界时，次原子学科看上去还是一个毫无头绪、混乱不堪的领域，一个充斥着任意用古希腊字母命名的粒子的大杂烩。但二十年以后，主要是由于得益于盖尔曼开创的新概念，物理学家们才得以将粒子间各种作用力整合成一个大一统理论，并信心十足地将这个大杂烩澄清为“夸克”（quarks）的各种组合——“夸克”是简单的次原子的建设砖块，是盖尔曼根据詹姆斯·乔伊思（James Joyce）的小说《芬尼根守夜》（Finnegans Wake）中一个杜撰的向命名的。一位认识马瑞二十年的理论物理学家说：“马瑞为一代人界定了粒子物理学研究的中心工作。马瑞所思考的正是每一个粒子物理学家所应该思考的。他知道真理之所在，他领着人们寻真理而去。”

从表面上看，三十多年对中子和质子内在研究的全副投入，使马瑞在考温的科学大整合的远瞻设想中显得是个奇怪的人物。很难想象还有比马瑞的研究更趋于还原论思维的了。但事实上，马瑞是个兴趣极为广泛的人，他对什么都好奇。据说他在飞机上会对坐在他身边的旅客长时间穷追不舍地刨根问底，一直要榨得对方倒出自己的生平故事为止。他最初对科学的热爱，源于他五岁开始对大自然

的热爱。那时他哥哥经常领他去曼哈顿公园散步，把他引向大自然。他说：“那时我们觉得纽约像一个被滥砍滥伐的铁杉树林。”自此开始，他就一直是一个热心的鸟类观察家和生态保护主义者。作为约翰·D·和凯瑟林·T·麦克阿瑟基金会世界环境研究委员会主席，马瑞帮助在华盛顿建立了一个被称为世界资源研究所(World Resources Institute)的环境保护智囊机构。他则深深卷入了保护热带森林的工作。

盖尔曼这一生还对心理学、人类学和语言学也深感兴趣。(他最初被耶鲁大学录取为物理学学生，只是为了称他父亲的心愿。他父亲怕他儿子如果主修人类学，以后会饿肚子。)每当提及一位外国科学家时，他对这位科学家的名字的发音总是既漂亮又准确。他能用几十种语言做到这一点。他的一位同事记得他曾经向马瑞提及他很快就要去爱尔兰看望他姐姐。

“她叫什么名字？”盖尔曼问。

“吉尔比斯。”

“这是什么意思？”

“嗯，我想，在盖尔语里，这意思是‘主教的仆人’。”

盖尔曼沉吟了片刻，说：“不对。在中世纪苏格兰盖尔语中，这意思更接近‘主教宗教信仰的跟随者’。”

如果罗沙拉莫斯还有任何人不知道成立研究机构这件事，盖尔曼可以用他极具说服力的雄辩口才说通他们。卡罗瑟斯说：“马瑞可以当场发表即席演说。也许他那令人鼓舞的演说还比不上邱吉尔，但他演说的清晰性和精彩漂亮却确实令听众叹服。”马瑞一加入创建研究机构的讨论，他的关于创建一个广博的研究所的发言马上就使大多数资深研究员有了一个凝聚的中心。麦特罗博利斯和罗塔的关于建立以计算机为着重点的研究机构的概念立刻就黯然失色了。

1983年圣诞节后，盖尔曼有了一个真正发挥才能的机会。考温利用盖尔曼、罗塔和潘恩斯喜欢在新墨西哥州过圣诞节的机会(事实上，盖尔曼刚在桑塔费盖了一座房子)，又召集了一次会议，希望研究院的筹备工作能够有一个开始。

盖尔曼在这次会议上扫除了一切障碍。他告诉他的同事们，这些狭隘的观点不够宏伟。“我们必须给自己制定出一个真正宏伟的目标。这就是面向呼之欲出的科学大整合——这一整台将涵盖许许多多学科分支。”十九世纪，达尔文的生

物进化论就是这样的一次大整合。生物进化论揭示，植物和动物的物种显然是相互关联的。新兴的地质学证明，地球的历史洪荒亘古，渊远流长于今；古生物学证明，远古时期的动植物与现在的动植物迥然不同。最近，被称之为大爆炸的大整合理论又详细描述了一百五十亿年前星球和银河万物是如何在一次难以想象的宇宙大爆炸后得以形成的。

盖尔曼说：“我觉得我们所要致力于研究的是今天正呼之欲出的、跨越科学不同学科的大整合。”对此的研究在有些领域已经开始了，比如在分子生物学、非线性科学、认知科学等领域。但肯定还有其他整合性科学正在酝酿之中。这个新的研究所的任务就是要促使其诞生。

他说，必须选择那些巨型、高运速、强功能的计算机能够辅助的课题来研究，不仅仅是我们能够用计算机来建立模型，而是因为计算机本身就是复杂系统。尼克和江卡罗在这点上完全正确：计算机也许就是这一宏大科学整合的一部分，但我们在开始之前不要给自己带上眼罩。如果你真想做这件事，那就从一开始就做对它，他总结说。

他的发言镇住了所有的听众。盖尔曼说：“我以前其实就说过这个话，但可能没有那次那么令人信服。”

盖尔曼以其雄辩的发言唱成了那次会议的主角戏。他以令人不得不信服的口才清晰地阐述了考温和大多数资深研究员们近一年来想表述清楚的意思。自此以后，大家的意见基本上统一了。这些元老们将致力于创建一个涵盖范围尽可能广博的研究所。如果盖尔曼愿意出来，去敲开捐助人的大门——他显然很愿意——那么，现在也许就是开始着手筹建这个研究所的时候了。

解决了这个重大问题以后，这个小组开始面对一个较次要的问题：谁来负责筹备工作？谁来促成这个研究所的创建？

所有的人都把眼睛望向同一个方向。

事实上，筹备这个研究所是考温这生最后想做的一件事。没错，这个研究所最初是他的主意。他相信创立这个研究所的必要性，认为这是件必须要干的事。但是见鬼，他自从成人以后一直就在做行政管理工作。他对此已经厌烦了。他厌烦总是要为获取科研基金而操心，厌烦了总是要告诉他的朋友们他不得不削减他们的预算，厌烦了总是只能利用周末时间来做自己的科研工作。他已经六十三岁

了，他的笔记本上记满了他从没有时间来完成的构想。比如像对太阳微中子的探测，研究被称之为双贝他衰变(double, beta decay)这种极为罕见的、引人入胜的放射线现象。这些是他始终想从事的科学研究，也是他现在要做的研究。

但是，当然，当潘恩斯提名由他来做研究所的开创人时，他回答说：“好吧。”既然潘恩斯事先已经向他透露了这个意思，考温对此已经有所考虑。这次，又是在罗萨拉莫斯一直诱惑他从事管理工作的因素，最终说服他接受了这个新任务。

“管理是其他人也能做的一项工作。但我总觉得他们也许没有做对。”另外，没有其他人表示愿意承担这个工作。

好吧，他对这个小组的成员说。至少在他们确信有其他人能够接手之前，他愿意来做这个红色小母鸡，做好一切事。但他只有一个要求：当前他需要马瑞出来帮助他游说。

考温说：“当你开始向人们募集资金时，他们希望听到你说明天就能解决能源危机问题。但我们准备把基调定得比这要低得多。我认为近几年之内我们最多只能形成一个对世界的全新的看法，而不可能获得任何很具实用性的成果。所以你对别人说的是：‘这是某某教授，为了能够致力于对更关乎于你日常关注的问题的研究，他放弃了对夸克的研究。’虽然他们不太明白你说的是什么，但他们会听信你。”

大家都同意这种做法。考温将是这个研究所的所长，一个实际负责人。盖尔曼将是研究所的董事会主席。

乔治

考温除了沉默寡言这个性格弱点之外，其实最适合做一个实际负责人。他到处都有关系网。当然，他几乎不可避免地会有这么多的熟人。新墨西哥州人口稀少，罗萨拉莫斯的行政主管很快就认识了这个州各方面的权威人物。但如果罗萨拉莫斯的行政主管凑巧自己也成为了一个百万富翁，那就更有益处了。

考温通常不主动提出这个问题。被人问起时也显得很尴尬。“如果任何人告诉我因为钱的问题而发生困难——嗯，我就是不会同意。”

他解释说，在六十年代初，“罗萨拉莫斯实施的是一个社会主义经济的理想

模式：这儿没有私有财产。人们根据职务的高低及其重要程度分得房子。职务较低的人只能分到像棚屋一样的房子住。这些房子看上去就像是军营。”

“那时，我正在招募人才——那时候招募的通常是男人——但很不容易招募到。让他们住在棚屋里，马上就会导致他们夫妻分离。所以我们极力说服在罗萨拉莫斯开发房地产。但银行不肯贷款给政府。所以我们对自己说，‘好吧，那我们就自己储蓄资金，寻找贷款。’我记得我跟我妻子说，也许我们的投资会血本无归。她说：‘没关系。’但我们并没有血本无归。我们的储蓄和贷款最终收获颇丰。所以我们决定开办一个银行，罗萨拉莫斯国家银行。结果又是开张大吉。”

“办这种事只需要一个称职的律师和几个友好的议员的帮助。”他说。

早在 1983 年夏天，考温就预见到创建这个研究所需要种子基金。所以他就去求助于他的一个老朋友：斯比哥尔·卡他劳戈财团的斯比哥尔（Arther Spiegel）。他和斯比哥尔曾经在一起为桑塔费歌剧院募过资，他还知道斯比哥尔和他的妻子还是新墨西哥交响乐团的主要募资人。对斯比哥尔来说，虽然他不会很明白考温所谈的创办研究所究竟是怎么一回事，但考温的想法对他来说很宏伟，因为美国急需对日本在世界上的高科技的领先地位做出反应。所以他开始帮助考温游说桑塔费市里的各种各样的有钱人出来投资。桑塔费有许多富人。

到 1984 年春，斯比哥尔已经从贝尔山（Mountain Bell）和生意最好的银行之一（这个银行自此就倒闭了）筹到了一点儿现款。钱不算多，但那时考温也并不把募集资金当作他最重要的工作。他觉得更重要的事是要打下一个基础。比如，1984 年复活节前后，考温从自己腰包掏出三百美元请桑塔费的首脑人物共进午餐。“我们觉得从政治上我们需要他们知道我们在想些什么，需要吸引他们的兴趣，得到他们的支持。但我们并没有大肆渲染。我们不想让人们从报纸上读到桑塔费突然来了一伙罗萨拉莫斯的知识分子，正在于桑塔费的人并不了解的事。”

这个午餐并没有带来任何资金。但这是一次很好的演练机会。盖尔曼出席了这个午餐，并做了讲演，很受听众欢迎。这是个诺贝尔奖得主的讲演！

与此同时，还有如何结成实体的问题要解决。如果你要开始向别人要钱，你就不能仅有私人帐号，必须还有其他帐号可以接收捐款入帐。所以考温和麦特罗博利斯就去找了老朋友杰克·康贝尔（Jack Compbell）。康贝尔曾经是这个州的州长，现在是桑塔费的一个生意兴隆的律师事务所的负责人。康贝尔对这件事非

常热情。他说，他担任州长一职时就一直想做这样的事。新墨西哥州的大学大孤立与现实世界之外了。康贝尔同意由他的律师事务所来为这个研究所做法律咨询，起草组成实体的各种法律文件。他还指点考温如何向美国国税局（IRS）说明这个新成立的研究所确实是个非盈利性机构。（美国国税局以对这种事抱怀疑态度而著称。考温不得不飞往达拉斯亲自做出陈述。）

1984年5月，桑塔费研究所成立了。没有地点，没有教职员，也没有一分钱。事实上，它只不过是个邮政信箱和斯比哥尔办公室的一个电话号码。它甚至没有一个恰当的名字：“桑塔费研究所”这个名称已经被一家治疗中心注册使用了。所以考温和他的同事们只得将研究所取名为“里奥格兰德研究所”（The Rio Grande Institute。里奥格兰德河流经桑塔费城西几英里处）。但不管怎么样，研究所已经存在了。

然而研究所竟致力于什么样问题的研究这个使人烦恼的问题依然存在。盖尔曼精彩描绘的远景当然很好。盖尔曼是个绝顶聪明的人，但没人会在清楚地了解这个研究所竟要从事什么研究之前轻易往里面猛然投注几百万美元。他们在没有看到这个研究所正在投入研究工作之前是不会投资的。“赫伯，我们该如何着手干这件事？”那年春天考温问罗沙拉莫斯的资深研究员赫伯·安德森（Herb Anderson）。安德森说，他最得心应手的方法是把一批非常杰出的人聚集在一起，组成一个研究小组，每个人都畅谈自己最深入其中、最感兴趣的话题。他说，你可以从你所邀请来的人的发言中找出涵盖这些不同学科领域的内容。如果这当中真有囊括各个学科的交汇点，你总会看到它从讨论中浮现出来。

“于是我就说，‘好吧，你就来开这个头吧。’所以他就照这样去做了。”考温说。在这之后不久，潘恩斯主动提出来将这些研究小组合并在一起——他大致上也是这么想的——安德森很愉快地加入了他的计划。

菲尔

1984年6月29日，菲利普·安德森（Philip Anderson）接到潘恩斯的一个条子，问他是否愿意于今年秋季参加一个“正在形成的科学大整合”讨论会。

嗯，也许吧。安德森对此持有一些怀疑。他已经听到过关于研究所的传言了。

盖尔曼走到哪儿都谈这个研究所。据安德森所知，这个研究所是由加州理工学院的几个上了年纪的诺贝尔桂冠得主组成的一个轻松的退休养老院，有百万美元的捐资，云集了科学界的巨擘。

值得庆幸的是，安德森的声望不在马瑞·盖尔曼之下。他于1977年因凝聚态物理学方面的杰出贡献而获得了诺贝尔奖。这三十年来，他在自己这个领域所享有的中心地位，就像盖尔曼在他的领域所享有的中心地位一样。但私下里，安德森却蔑视权威和荣誉。他甚至不喜欢从事时髦问题的研究。每当他感到其他理论物理学家都涌向他正在研究的一个课题时，他就会本能地转向别的领域。

他尤其无法忍受那些物理学界新星到处炫耀自己的专业的做法，他们就好像佩戴着学术衔位的徽章似的，不管自己是否取得了学术成就都要大声嚷嚷：“看看我吧，我是粒子物理学家呢！”、“看看我吧，我是个宇宙学家呢！”对国会把资金挥霍在制造浮华的新型望远镜和耗资巨大的新型加速器上，而让一些小规模的、在安德森看来更有科学价值的研究项目无钱进行的做法，安德森感到非常愤怒。他已经花了大量时间在国会委员会面前谴责粒子物理学家们最近宣称的、将耗资几十亿美元的超导超级对撞机（Super-conducting Superconllider）计划。

另外，他觉得桑塔费这伙人像是一批业余爱好者。马瑞·盖尔曼怎么会知道如何组织一个跨学科的研究所？他这一生从来没有做过任何跨学科项目的研究。潘恩斯起码还和天文学家一起做过一些将固体物理应用于中子星结构的研究。他和安德森确实也正在一起做这个小问题的研究。但其他人呢？安德森的学术生涯大部分是在贝尔实验室（Bell Labs）度过的。如果真有一个跨学科环境的话，贝尔实验室就是这样一个环境。安德森知道进行这样跨学科的研究有多么棘手。在学术领域，遭受惨败的各类新奇研究所已是尸横遍野。这些新奇的研究所最终不是成了狂人的占领区，就是陷入让高智商窒息的境地。事实上，在普林斯顿，安德森身边就有一个悲惨的例子：这就是庄严的普林斯顿高级研究所，奥本海默、爱因斯坦和冯·诺意曼的家。这个研究所确实在某些方面成就斐然，比如在数学方面。但作为一个跨学科的研究所，安德森认为它是一个悲惨的失败。在这里，无非是有一群绝顶聪明的科学家在各自忙着自己的事，很少相互探讨问题，安德森已经看到许多杰出的科学家进去后从未兑现自己的诺言。

但尽管如此，安德森仍然觉得这个桑塔费研究所对他有很大的诱惑力。特别在扭转还原论的潮流上。这是他的语言，他已经和还原论打了几十年的游击战了。

他回忆说，激起他采取行动的第一件事，是 1965 年他读到粒子物理学家维克多·韦斯考普夫 (Victor Weisskopf) 的一篇文章。在这篇演讲中，韦斯考普夫似乎在暗示，“基础”科学——即粒子物理和宇宙学的一部分——不同于、也优于诸如凝聚态物理学这样的应用性学科。作为一个凝聚态物理学家，安德森感到受了侮辱，非常恼怒。他立即写了一篇反对这个观点的文章，于 1972 年发表在《科学杂志》(Science Magazine) 上。这篇文章的题目是《更多就不同》(More Is Different)。自此以后，只要一有机会安德森就宣传他的观点。

他说，他首先得承认，还原论的形式有其“哲学的正确性”。也就是：相信宇宙是受自然法则支配的。绝大多数科学家全心全意地认同这个论断。确实，如果科学家不接受这个观点的话，很难想象还会有科学的存在。相信自然法则就是相信宇宙最终可以被完全理解。能够决定银河命运的力量也就是能够决定地球上从树上落到地上的那只苹果的力量；能够透过钻石折射光线的原子也就是能够形成一个活细胞的原子；由大爆炸形成的电子、中子和质子也可以形成人脑、心智和灵魂。相信自然法则，就是从最深层次相信自然的统一性。

但是，相信自然法则并不意味着基本法则和基本粒子是唯一值得研究的对象。即，只要有一个足够巨大的计算机，其它一切事情都是可以预料的这一观点。他说，很多科学家确实是这么认为的。1932 年，发现了正电子（电子的反物质的表述）的物理学家就宣称，“其余的一切都是化学”。最近，马瑞·盖尔曼自己也把凝聚态物理学理论弃之为“脏态物理学”。正是他的这种傲慢让安德森感到无法忍受。正如他在 1972 年的文章中所写的：“具有将所有东西都还原到最简单的基本规律的能力，并不意味具有能从这些最简单的基本规律着手，重构宇宙的能力。事实上，基本粒子物理学家越多地告诉我们基本法则的实质，这些法则对于其他科学的真正问题就越不相干，离社会现实就更为遥远。”

这个“其余一切都是化学”的胡说八道一碰到大量尺度与复杂的双重问题时就不击自溃了。举水为例，组成水的分子一点儿都不复杂，只是一个大的氧原子和两个小的氢原子粘在一起，就像米老鼠和它的两只耳朵一样。水分子的行为受

众所周知的原子物理方程式的支配。但当你把大量的水分子放在一个热锅里，水就会突然沸腾起来，水分子会上下翻滚、溅泼，大量的水分子会形成一个集体的特征，液态。而每一个单个的水分子却不具有这样的特征。事实上，除非是你能准确地知道从何处入手、又如何研究这些特征，否则，在那些众所周知的原子物理方程式里是找不到答案的。这些方程式甚至不存在对这样的集体特征的暗示。水的液态是“涌现”(emergence)的。

安德森说，同样，涌现的特征经常会导致突现的表现形式。比如说，将这些液态水稍加冷却，冷却到华氏 32 度，突然水就不再随机地滚做一团了。相反，水分子会进入“相变”(phase transition)，将自己凝固成我们所说的冰的晶体排列状。或者你也可以反过来做这个实验。把水不断加热，正在沸腾的水分子会突然蒸发，进入相变，变成水蒸气。这两种相变对单个水分子来说都是没有任何意义的。

这样的例子层出不穷。天气就是一个涌现的特征：把水蒸气带到墨西哥湾上空，让它与阳光和风相互发生作用，它就可以自组织成叫作雷暴雨这样的一种突然出现的结构。生命也是一个涌现的特征，是 DNA 分子、蛋白分子和无数其它的分子都遵循化学法则而产生的结果。心智又是一个涌现的特征，是几十亿神经元遵循活细胞的生物法则产生的结果。事实上，正如安德森在他 1972 年发表的文章中所指出的那样，你可以把宇宙想象成是由不同的阶层组成的：“在每个复杂的层面都会出现全新的特征。每个阶段都需要全新的法则、概念和普遍化，需要与上一阶段同样多的灵感和创造性。心理学并不是应用生物学，生物学也并不是应用化学。”

任何读过他 1972 年发表的文章或和文章的作者交谈过的人都不会怀疑作者的情感指向。对安德森来说，无穷变化中的突发现象正是科学最诱人之处。较之而言，夸克就显得非常乏味。这就是他之所以深入凝聚态物理学的最重要的理由：这是一个突发现象的神境。(1977 年授予他诺贝尔奖就是表彰他对某种金属从电导体转变成绝缘体的微妙过程做了理论上的解释。)这也是为什么凝聚态物理学始终不能完全满足他的原因。1984 年 6 月，当安德森收到潘恩斯的邀请时，他正忙着将他在物理学中发展的技术应用于理解蛋白质分子的三维结构，同时分析神经系统的行为表现：一列列简单的处理器如何像大脑中的神经元网络一样进

行计算。他甚至还深入到最终的奥秘：他提出了一种模式来解释地球上的第一个生命是如何通过简单化学混合物的集体自组而形成的。

所以，安德森想，如果这个桑塔费研究所是认真的话，他很愿意去听听。当然，如果它是认真的话。

几个星期以后，他接到了潘恩斯的邀请，有机会自己去见识一番了。事情的结果是，那年夏天，他担任了阿斯本物理中心（Aspen Center for Physics）主席。这个物理中心隔着一个草坪与阿斯本研究所相望，是理论物理学家的避暑地。安德森本来计划到那儿去见潘恩斯，讨论一些关于中子星内部结构的计算问题。所以当他到潘恩斯的办公室见他第一面时，他就直奔主题地问：“好吧，你们这个研究所到底是玩花活呢，还是认真的？”他知道潘恩斯一准会说：“当然是认真的。”但他想听听到底是怎么个认真法。

潘恩斯尽力让自己的回答具有说服力。他非常需要把安德森拉进来。尽管安德森持有种种怀疑，但就他广泛的兴趣和深刻的洞察力而言，他至少也与盖尔曼处于同等的量级。他会成为研究所非常需要的对盖尔曼的制衡力量。而且，他作为诺贝尔奖得主加盟，也会大大提高研究所的信誉。

所以，潘恩斯向安德森保证说，这个研究所真的是想致力于跨学科的研究，而不仅仅只是关注几个时髦的研究课题。不，研究所不会是马瑞·盖尔曼个人的前沿阵地，也不会成为罗沙拉莫斯的附属品。潘恩斯知道，安德森不想与罗沙拉莫斯发生任何关系。潘恩斯告诉安德森，考温在起主要作用，潘恩斯也在起主要作用。如果安德森能够加入进来的话，他潘恩斯也会让他起到主要作用。安德森有否发言人可以向讨论会推荐吗？

潘恩斯成功了。当安德森发现自己报出一些名字和讨论题目时，他知道他已经上钩了。这个能使自己的思想产生影响的机会对他太具诱惑力了。“我能够在这个研究所产生一些影响这个念头使我接受了潘恩斯的邀请。如果这个研究所真能付诸实现，我非常渴望对它的发展尽我的一份力量，希望它能够避免我们以往的错误，能够尽可能顺利地发展。”

由于盖尔曼和卡罗瑟斯正好也在阿斯本，所以关于召开讨论会和成立研究所的讨论持续了整个夏天。安德森夏末一回到普林斯顿就写下了三四页关于如何组建研究所才能避免错误的建议。（最主要的观点是：不要分设科系！）

他定于秋天去桑塔费。

“我在这儿干什么呢？”

要将这些讨论会组合在一起确实是个相当棘手的工作。其实，筹集基金倒并不十分困难。盖尔曼利用他的关系网从卡内基基金会拉来了两万五千美元。IBM公司捐资了一万美元。考温又另外从麦克阿瑟基金会筹集到两万五千美元。(盖尔曼是该基金会董事，觉得自己去筹资不太合适。)

但更困难的事情是邀请什么人来参加的问题。考温说：“问题是，你能够让被邀请来的人相互交谈，就学科边缘上所发生的问题相互启发，相互激发吗？我们能否形成一个能够真正丰富科学大整合这类研究的社团？”我们实在不难想象这样的会议最终会落入互不理解，每个人的话题正好都与其他人的话题擦边而过的境地——如果他们之中的人没有因为实在百无聊赖而第一个走出会议室的话。避免这类情况发生的唯一办法就是要邀请那些适当的人来参加讨论。

“我们不需要那类与世隔绝的人，那类把自己关在办公室里写书的人。”考温说。“我们需要沟通，需要激情，需要相互之间产生知识的激励。”

他说，他们最需要的是那些在自己的学科领域已经显示出真才实学和创造力，但又思想开通，易于接受新思想的人。但令人沮丧的是，即使是(或特别是)在举世瞩目的科学家里面，这样的人也十分稀少。盖尔曼推荐了一些可能具有这样素质的人。考温说：“盖尔曼对人的知识实力有很高的品味。而且他认识所有的人。”赫伯·安德森也推荐了几个人，潘恩斯和菲尔·安德森也都推荐了一些人。考温说：“菲尔的常识异常丰富。他对那些他觉得华而不实的人很不客气。”他们花费了一个夏天的时间给全国各地打电话和苦思冥想，这才寻找到各大学科的精兵强将。他们最后发现，他们推荐上来的是“一个令人吃惊的杰出人才的名单”，囊括杰出物理学家、人类学家和临床心理学家。

当然，考温和任何人完全不知道，当这些人聚在一起时会发生什么。

其实，根本就无法将这些人全部都聚在一起。他们各自在时间安排上的冲突迫使潘恩斯将讨论会分别安排在两个周末举行，1984年10月6日至7日和11月10日至11日。但考温记得，即使是这样分成两段的讨论会召开起来都有困难。

在10月6日的讨论会上，盖尔曼首先做了一个为时四十五分钟的发言，题目是：《研究所的概念》——基本上是他在前一个圣诞节期间对资深研究员们做的那番鼓舞人心的关于《正在形成的科学大整合》的发言的扩大版。接下来是就如何将这个概念变成切实可行的科学研究计划和一个现实的研究所进行长时间的讨论。“讨论中有一些争议。”考温说。起初，大家对如何寻找到一个共同点不是很明确。

比如说，芝加哥大学神经科学家杰克·考温（Jack Cowan。与乔治·考温没有亲戚关系）认为，分子生物学家和神经科学家早就应该开始把更多的注意力放到理论方面的研究上，从手头已经掌握的大量关于单个细胞和单个分子的数据资料中寻找出意义所在。但马上就有反对意见说，细胞和生物分子很大程度上是随机进化的产物，对理论研究没有太大的意义。但杰克·考温以前就听到过类似的反对意见，他坚持自己的立场，举麻醉剂导致的视幻觉为例。这些视幻觉会有格子状、螺旋状、漏斗状等多种形状。每一个形状都可以被看作是一个通过脑视觉皮层的线性电波。对此是否有可能利用物理学家用过的数学场理论（mathematical field theories）做成线性电波的模式呢？

美国研究所的道格拉斯·斯瓦兹（Douglas Schwartz）说，考古学是进行跨学科研究最成熟的领域。美国研究所坐落在桑塔费的考古中心，这次研讨会就在这个中心召开。道格拉斯说，考古研究正面对三大最根本的谜团：第一，尚未进化为人类的灵长物类是从什么时候开始具有了包括复杂的语言和文化在内的人类的特质的？这是发生在一百万年以前，从人能直立行走开始的呢？还是发生在几万年前，在尼安德特人开始转变成现代人类，现代直立人时开始的呢？是什么导致了这些变化？几百万种物种没有人脑这么大的大脑也生存自如。为什么地球上的物种如此不相同呢？第二，为什么农业社会和定居生活取代了游牧狩猎和部落生活？第三，什么力量导致了像行业分工、精英阶层的形成和基于经济和宗教等因素的权力结构的形成等文化复杂性的发展？

斯瓦兹说，虽然美国南部的阿纳萨基文明崛起与衰落的考古遗迹给后两个谜团提供了极好的野外实验室，但这三个谜团还没有找到真正的答案。他觉得，找到答案的唯一希望，在于考古学家和其他学科的专家之间要有比以往更多的合作。野外研究人员需要物理学家、化学家、地理学家和古人类学家更多的帮助，

来使他们重现远古时期气候和生态平衡的变化。更重要的是,他们需要历史学家、经济学家、社会学家和人类学家帮助他们理解究竟什么是古代人行动的驱动力。

这番话无疑引起了芝加哥大学的考古学家罗伯特·麦克考马克·亚当斯(Robert McCormack Adams)的共鸣。亚当斯几个星期前刚宣誓就任史密斯生物研究院的秘书长。他说,至少在过去的十年中,他对人类学家的文明进化渐进论感到越来越不耐烦了。当他在美索布达米亚做考古挖掘时,看到古代文化经历了混乱的震荡和骚动。他说,他越来越把文明的兴衰看成是自组织的现象。在这个过程中,人类在不同的时候,从自己对环境的不同的认识出发,选择不同的文化组合群。

史蒂芬·伍尔弗雷姆(Stephen Wolfram)也从一个完全不同的方向接过来探讨这个自组织的主题。普林斯顿大学高级研究所二十五岁的史蒂芬是一个英格兰神童。他正在从最基本的层面上研究复杂现象。他早就开始和伊利诺斯大学商谈创建一个从事复杂系统研究的中心。他说,每当你观察物理或生物方面非常复杂的系统时,你会发现它们的基本组成因素和基本法则非常简单。复杂的出现是因为这些简单的组成因素自动地在相互发生作用。复杂性其实是存在于组织之中:即一个系统的组成因素用无数可能的方式在相互作用。

最近,伍尔弗雷姆和其他许多理论家已经开始用细胞自动器来进行复杂性的研究。这基本上是按照编制好的特殊程序在计算机屏幕上生发出各种形式。细胞生发器具有定义精确的优势,因此可以用来做详细分析。而且,它们还完全可以用来对从非常简单的规律生发出具有令人吃惊的动力和复杂性形式进行研究。他说,理论家所面临的挑战,是要从中得出一个普遍的规律,这个规律应该能够描述这样的复杂性是何时和如何涌现于自然界的。虽然目前尚未得出答案,但他对此却抱乐观态度。

同时,不管你利用这个研究所做些什么,都要确保每个研究人员都有当前最好的计算机装备。计算机是从事复杂性研究的最基本的工具,他补充说。

讨论如此这般地继续着。怎样组织这个研究所?芝加哥城外的弗米国家加速器实验室创始期主任罗伯特·威尔逊(Robert Wilson)说,关键是,研究所要与实验人员保持密切的联系。过多的理论最终只会使你两眼紧盯着自己的肚脐眼。IBM公司的首席科学家路易斯·布朗斯克姆(Louis Branscomb)极力推崇创

办一个没有系科界限的研究所的思路。在这样的研究环境中，人们可以随意交谈，相互影响。“人们可以相互偷思想，这点非常重要。”他说。

考温说，到了第一天午餐时间，与会者开始对自己的任务变得热切了起来。十分幸运的是，桑塔费恰逢秋高气爽的大好天气，大家排队自选午餐后，便端着盘子走出户外，在美国研究所的草地上继续刚才的讨论和争辩。（这个研究所的房产曾经属于一个在这儿埋了两百二十条狗的脾气古怪的嗣女。）考温说：“大家开始认识到，某些事正在形成之中。他们正在迎接它的到来。”到了第二天，那是一个星期天，“事情已经变得很激动人心了。”到了与会者启程回家的星期一早上，每个人都已经很明白了，这儿确实可以成为一个科学的核心。

卡罗瑟斯觉得这个周末过得就像是在天堂。“这儿聚集了一群来自不同学科领域的人，他们是全世界最具创造性的人。他们相互之间有许多共同语言，对世界基本上都持有一种共识。他们似乎都感到‘涌现的整合’真正意味着科学的重组——科学在不同领域的重复的主题将以新的方式被重新组合。我还记得我和斯坦福大学人口生物学家杰克·考温、马克·菲尔德曼（Mare Feldman），以及很多数学家之间的讨论。我们各自的学科文化背景迥然不同，但我们却发现我们面临的问题无论在技术上还是在结构上都有很大的重复性。也许这部分地是因为人类的头脑只能按一定的方式思考，但这些研讨会把我们所有人都变成了真正的信徒。我不怎么愿意把这称之为宗教的体验，但却非常接近这种体验。”

对埃德·奈普（Ed Knapp）来说，置身于众多功名显赫的大人物之中，令他欣喜万分。奈普是罗萨拉莫斯的元老，目前正在华盛顿国家科学基金会担任本届的主席。他也参加了最初的一些关于创立研究所的讨论。有一次他走到卡罗瑟斯面前问：“嗨，我在这儿干什么呢？”

史密斯协会的鲍勃·亚当斯（Bob Adams）也有差不多的反应。“这是一批很优秀的论文。”他说。“当事情正呼之欲出，而你已经开始做一些寻找端倪的工作时，能够走出来参加这样的桑塔费学术讨论，突然发现在神经生物学、宇宙学、生态平衡学理论等领域已经开始了这方面的探索——上帝，你只希望你也能加入进去。”

一个月以后又举办了第二次研讨会，出席这次研讨会的人全都换了，但效果却像上一次一样好。甚至连安德森都深有感触。“你没法不感到跃跃欲试。”他说。

这次研讨会消除了他的最后一丝怀疑：这个研究所确实不同于以往他所知道的所有高级研究机构。“这个研究所比以往任何这类的研究机构都更致力于跨学科的研究。他们确实把关注的重点置于各学科之间的共同问题上。”他说。而且，讨论确实产生出了一些东西。“虽然我们还不很清楚讨论涉及到的所有方面的问题是否都会被列入研究计划，但我们清楚地知道，其中很多问题都会被列入研究计划。”

更重要的是，研讨会对考温关于科学大整合的概念做了澄清，而这正是非常需要做的事。盖尔曼回忆说：“我们寻找到了大量的相似点。在我们所涉及到的各种学科领域的问题中，存在大量的共同特点。你得仔细观察和推敲，但一旦当你弄懂了各学科的术语，你会突然发现，大家面临的问题有如此多的共同点。”

特别是，创建期的研讨会证明，每一个问题的核心，都涉及一个由无数“作用者”组成的系统。这些作用者也许是分子、神经元、物种、消费者，或甚至是企业。但不管这些作用者是什么，它们都是通过相互适应和相互竞争而经常性地自组织和再组织，使自己形成更大结构的东西。就这样，分子组合成细胞、神经元组合成大脑、物种组合成生态平衡系统、消费者和企业组合成经济，等等。在每一个阶段，新形成的结构会形成和产生新的突然涌现的行为表现。换句话说，复杂性，实质上就是一门关于涌现的科学。我们面临的挑战，也就是考温一直想陈述清楚的东西，就是如何发现涌现的基本规律。

这并不是一个巧合，讨论进行到了这个阶段，这个整合为一的新科学才产生了一个名字：复杂性科学。考温说：“较之我们沿用过的其他名称，包括‘突变科学’，这似乎是一个更能涵盖我们正在致力于研究的一切的总称。”“它涵盖了我感兴趣的一切，也许也涵盖了这个研究所所有人所感兴趣的一切事情。”

所以，在两次研讨会之后，考温和他的研究所就上了道。他们现在最需要的，就是有人能慷慨解囊，资助他们一笔经费。

约翰

十五个月以后，他们仍然在等待资金。回顾这段历程时考温说，他那时一直很有信心，相信经费会随之而到。“这是一段酝酿期。我觉得事情正在迅速发展

之中。”但这个小组中的其他成员却急得火烧火燎。潘恩斯说：“我们有一种紧迫感，如果我们不能保持住这个势头，那么我们会失去获得支持的机会。”

但这段时间也并非毫无成效。事实上，在许多方面，这十五个月的工作进展得非常好。考温和他的同事们找到一些钱，举办了几期研讨会。他们还落实了组织工作的大量具体细节问题，还说通了皮特·卡罗瑟斯以前的得力助手麦克·西蒙斯来做兼职副所长，这样就卸下了考温肩上的许多行政工作负荷。他们甚至还要回了他们想要的研究所的名称。以前他们只是为了需要才不得不接受里奥格兰德研究所这个名称。在作为“里奥格兰德研究所”存在了一年之后，当地的一家公司来跟他们说，他们想要这个名称。所以他们说：“行啊。如果你们能帮我们要回我们想要的名称就行。”所以这家公司就只好从那家治疗院那儿为他们买回了“桑塔费研究所”这个名称。这个交易就这么做成了。

也许最重要的是，考温和他的小组施巧计消除了与盖尔曼之间的一场潜在的爆发性危机。盖尔曼一直是一个非常优秀的、充满创意的演讲人。而且，他还从他的关系网中为研究所董事会招募了一些新的成员。盖尔曼说：“我总是做好准备听他们说：‘不，我太忙了。’但他们却总是说：‘哦，上帝，当然！我什么时候能来？我喜欢你们的想法。我这一生都在等待这样的机会！’”

但作为董事会主席，募集基金的负责人，盖尔曼简直就没做成任何事。对他最客气的说法是，他天生就不是一个行政领导人。考温为此对他怒不可遏。“马瑞总是在别的地方。”盖尔曼管事太多，而且这些事不都是在桑塔费的事。他的办公桌上堆满了尚未审阅的文件，也从不回电话，把人们气得要发疯。研究所于1985年7月在阿斯本潘恩斯家召开了执行会议，这种糟糕的情况才得到圆满的缓解。盖尔曼同意辞去董事会主席一职，主持新成立的科学委员会。这样他就可以愉快地为研究所制定研究计划。刚从国家科学基金会卸任回来的埃德·奈普接任了董事会主席一职。

尽管取得了上述这些进展，但研究所期望的带着一亿美元的天使却还没到来。考温和其他人已经在想方设法努力争取。一些主要的基金会并不急于把钱投向这样一个稀奇古怪的项目。那些正儿八经的研究项目还急需他们的资助来度过里根财政削减导致的困难呢。卡罗瑟斯说：“我们要解决的是当今世界上所有的焦点问题，但许多人却对此置之一笑。”

与此同时，联邦政府基金机构的资助也成为很大的问题。继奈普之后就任国家科学基金会主席的爱利克·布劳奇(Eric Bloch)似乎愿意资助研究所一笔急需的种子基金，大约在一百万美元左右，但他肯定不会拿出一千万美元这么大的数额。考温的老朋友，现任能源部研究中心主任的阿尔文·特里弗尔皮斯(Alvin Trivelpiece)也做了这样的承诺。布劳奇甚至还提出，可以由两个基金会共同资助。但问题是，只有在研究所形成一个正式建议书并被通过后，这些事才有可能。然而等待建议书的形成和批准很可能需要几年的时间，因为现在大家仍然在做兼职。但在这之前，考温手头的运转经费就很紧缺。桑塔费研究所似乎是在做艰难的挣扎。

所以，1986年3月9日的董事会议的主要内容是挖空心思开列可能会为研究所捐资的人的名单。大家对很多想法做了详尽的讨论。一直到会议快结束时，坐在会议桌远端靠会议室后墙的鲍勃·亚当斯才犹犹豫豫地举起了手。

顺便说一下，他说。他最近在纽约参加罗素·赛奇基金会的董事会议。这个基金会为社会学研究出过不少资。在会议期间，他和新上任的花旗银行总裁约翰·里德(John Reed)交谈过。亚当斯说，里德是个很有趣的家伙，刚四十七岁，是美国最年轻的企业主管。他在阿根廷和巴西长大，其父曾在那儿当企业主管。他在华盛顿和杰弗逊大学拿了一个文学士学位，在麻省理工拿了一个冶金学学士学位，又在麻省理工的斯隆商学院拿了商学硕士学位，科学知识十分广博。在罗素·赛奇基金会董事会议上，他显得十分愿意和学术界人物交流思想。

不管怎样吧，在喝咖啡时他和里德谈起了桑塔费研究所的事，亚当斯尽力向他做了解释。里德非常感兴趣。他当然没有一亿美元可以给他们。但他想知道研究所能否帮助他了解世界经济。里德说，当面临世界金融市场的问题时，那些职业经济学家就只能编造童话故事了。花旗银行在里德的前任奥尔特·韦斯顿(Walter Wriston)手下陷入了第三世界债务危机。花旗银行一年中损失了十亿美元，还有一百三十亿美元的巨款也许永远收不回来了。银行雇佣的经济学家不但没能预测到会发生这种情况，甚至他们的建议只是把事情弄得更糟糕。

所以里德认为，也许需要一个全新的对经济学的认识。他问亚当斯，桑塔费研究所是否对解决这个难题有兴趣。里德说他甚至愿意亲自来桑塔费谈谈这个问题。你们怎么认为？

潘恩斯说，亚当斯的话音刚落，“对这个提议我只考虑了一瞬间，立刻就说：‘这个主意太好了！’”考温随即响应。“把他叫到这里来。”他说。“我去筹集所需花费。”盖尔曼和其他人也纷纷插话表示赞成这个主意。但在座的人心里都清楚，现在把经济学当作复杂系统来研究，至少提前了二十年。考温说：“这项研究几乎难以界定学科界限。它涉及人类行为。”但，见鬼去吧，研究所的事照目前这个速度进展，他们已经没有对任何人说不字的余地了。这事值得一试。

菲尔·安德森在电话上说，戴维（潘恩斯），确实，他（里德）对经济学很感兴趣。经济学其实是他的一大嗜好。没错，与里德的会谈听起来很有趣。但戴维，我来不了。我太忙了。

潘恩斯极力游说。他知道安德森不喜欢旅行，于是就说，但是菲尔，如果你把事情安排好的话，你可以搭乘里德的私人飞机来，还可以带你夫人一起来。你们俩可以一起享受一下搭乘私人飞机的乐趣。那真是妙极了。那些飞机直接把你送往目的地，从家里出门到跨进这儿的门，可以省你六个小时的时间。这也给了你一个认识约翰的机会。你可以和他谈谈研究项目，可以……

好吧，安德森说，好吧。我来。

所以，1986年8月6日，星期三傍晚，安德森和他夫人乔艾思登上了花旗银行的专机飞往桑塔费。嗯，安德森不得不承认它确实飞得很快，但也很冷。花旗银行的飞机爬上了五万米高空，远远高于一般商用飞机的飞行高度。但机舱里的暖气却好像对付不了严寒，乔艾思·安德森缩在机舱后面的一块毛毯下面。安德森坐在前排和里德、以及他的三个助手，布朗·奈夫（Byron Knief）、尤金尼亚·辛格（Eugenia Singer）和维克多·麦内泽斯（Victor Menezes）谈论着经济学。一同前往的还有麻省理工的经济学家卡尔·凯森（Carl Kaysen）。此人主持过普林斯顿高级研究所，现在是罗素·赛奇基金会和桑塔费研究所董事会的董事。

安德森发现里德很像亚当斯所形容的那样：聪明、直率、善言。在纽约，他因集体解雇职员而恶名远扬。但安德森发现，在私下交往中他是一个随和而不装腔作势的人，一个喜欢在和人聊天时把一条腿翘到椅子扶手上的企业主管。他显然没有被诺贝尔奖得主给唬住。他说他其实早就希望有这样一个会面的机会。这也正是为什么他喜欢罗素·赛奇基金会董事会议，喜欢其它学术机构董事会议的

原因。“这种事对我来说十分有趣。这给了我和学术知识界人物交谈的机会。他们对世界的看法与我的日常工作大不相同。从两种不同的角度看世界使我受益匪浅。”里德回忆说，去桑塔费必须考虑怎样对一群专家学者解释清楚地个人对世界经济的偏颇看法，这使他感到非常兴奋。“这与你对着是一群银行家讲话显然完全不同。”

对安德森来说，桑塔费之行是关于物理学、经济学和变幻莫测的全球资本流动的一场绝妙的漫谈。他还发现里德的一个助手不只是旁听而已。穿着好几件毛衣仍然在发抖的尤金尼亚·辛格为里德做了一个对计量经济模型的调查，她这次来是要就这个调查做一个报告。这些计量经济模型包括联邦储备银行、日本银行和其他银行采用的大型计算机对世界经济的模拟。安德森立刻就喜欢她了。

辛格颤抖不已并不是因为机舱里太冷。“我是被约翰要我做的事吓坏了！”她笑道。她除了一张数学统计的硕士学位之外一无所有，尤其缺乏这方面的工作经验。“而约翰竟要我来对获诺贝尔奖的物理学家们做报告！说得客气点，我觉得我在技术上根本不具备这个资格。”

“这是我第一次对约翰给我下达的任务说不字。但他却轻描淡写、事不关己地说：‘哎，尤金尼亚，你会做好这件事的。在这方面你知道的比他们多。’”所以她就来了。事实证明里德是对的。

由亚当斯和考温共同主持的会议第二天早上八点钟在距桑塔费以北十英里处的一个旅游牧场召开，只有十几个人参加。与会者中包括考温的老朋友杰里·盖斯特(JerryGeist)。他是新墨西哥公共服务公司的主席，这个会议的资助者。这次会议并不着意于科学交流。而是一场阐述和澄清，各方都极力想说服对方，让对方做自己非常希望对方做的事。

里德首先发言。他带来了一叠投影用的透明薄膜片。他说，他的问题基本上是他深陷于一种蔑视经济分析的世界经济体系之中。现存的新古典经济学理论和基于这之上的计算机模型根本无法在他面对风险和不稳定因素时向他提供做决策所需要的信息。有些这类的计算机模型极其复杂。其中一个尤金尼亚待会儿会向各位详细描述。这个计算机模型有四千五百个方程式和六千个变量。但没有一个模型能够真正对付得了社会和政治因素。而这些因素往往就是最重要的变量。大多数模型都假设操作者会用手工输入利率、汇率和其他这类的变量，而这

些恰恰是一个银行家期望经济模型能预测到的变量。几乎所有这些经济模型都倾向于假设这个世界永远不会远离静止不变的经济均衡，而事实上这个世界经常由于经济突变和骚乱而动荡不安。总之，巨型的计量经济学模型能够给予里德和他的同僚们的，一点儿也不比他们凭直觉判断的要多。其结果也许都是想象出来的。

最近的一个例子是以 1979 年卡特总统任命保罗·弗尔克 (Paul Volker) 为联邦储备局局长为标志的世界经济动荡。里德解释说，这场经济动荡始于四十年代。当时各国政府都挣扎在两次世界大战导致的经济恶果和其间的一次西方经济大萧条之中。在这种困境之中，各国政府纷纷认识到，世界经济已经变得比以往任何时候都更有赖于各国之间的合作。这种共识在 1944 年的布雷顿森林协议 (Bretton Woods agreements) 中表现得最为突出。各国在新政之下纷纷放弃了以前的孤立主义政策和保护主义政策，开始转向同意让世界银行、国际货币基金组织和关贸总协定这样的国际组织来运作。结果非常成功。从金融上来说，世界经济起码持续了二十五年的稳定发展。

但到了七十年代，1973 年和 1979 年发生了两次石油危机，尼克松政府让美元在国际货币市场自由浮动的政策、不断上升的失业率和蔓延肆虐的“经济停滞、通货膨胀”——这一切导致了布雷顿森林协议之后形成的世界经济体系的瓦解。资金开始以越来越快的速度在国际上流动。在那些为降低成本而正把生产线从本土移至海外的美国和欧洲的公司的支持下，迫切需要投资资本的第三世界国家开始借巨款来发展自己的民族经济。

里德说，在他们雇佣的经济学家们的建议下，花旗银行和其它许多银行欣然将几十亿美元借贷给这些发展中国家。当时保罗·弗尔克宣誓就任联邦储备局局长，发誓要控制通货膨胀，不管付出多大代价，哪怕这意味着要让利率高到穿透屋顶，导致经济衰退。但没人真的相信他的话。里德说，事实上，银行和他们雇佣的经济学家们都没有能够及时注意到，各国政府也都发出了同样的信息。任何一个民主国家都无法容忍政府强制的痛苦，是不是？所以花旗银行和其他银行在八十年代初一直还在把钱贷给发展中国家。直到 1982 年，墨西哥首先宣称，反通货膨胀引发的世界范围的经济衰退导致他们无力偿还贷款。然后阿根廷、巴西、委内瑞拉、菲律宾和许多其他发展中国家也都纷纷如此宣称。

里德说，自 1984 年他出任花旗银行总裁以后，花费了大量时间来理清这团乱麻，迄今为止花旗银行已经损失了几十亿美元，世界各国银行的全部损失约在三千亿美元左右。

所以，他应该寻找什么样的资金运作替代方案？里德并不指望任何新的经济学理论准确到能够预测到保罗·弗尔克这样的特殊人物会上台。但是更符合社会和政治现实的新经济学理论应该可以预测到会有像弗尔克这样的人上台——不管怎么说，出于政治上的需要，他毕竟非常成功地控制住了通货膨胀。

他说，更重要的是，一个更好的经济学理论也许能够帮助银行注意到弗尔克行动隐含的意义。“任何能够加强我们对我们所处的这个世界的经济驱动力的理解和认识的事情都值得一做。”就他听到的现代物理学和混沌理论而言，物理学家的一些想法也许能够被应用于发展一种新的经济学理论。不知桑塔费研究所能否帮忙？

桑塔费方面的人被深深吸引住了。对他们大多数人来说，这是一个全新的领域。尤金尼亚·辛格对全球计算机模型的详细介绍也同样引起了他们的极大兴趣。尤金尼亚介绍的这些计算机模型包括规划连接（包含六千个变量）、联邦储备局跨国模型、世界银行全球发展模型、华利商贸模型和全球最优化模型。她总结说，这些模型没有一个是切实可用的，特别是在对付经济变化和震荡时。

所以这个话题又提出来了，桑塔费能帮得上忙吗？

嗯，也许吧。整个下午的大部分时间都是桑塔费研究所的学者对自己观点的阐述和说明。安德森谈及涌现和集体行为的数学模型问题，其他人谈到用先进的计算机图形处理技术来把堆积如山的数据转化成生动易懂的图形，利用人工智能技术来模拟能够适应、进化和从经验中学习的动因，以及将混沌理论用于分析和预测股市价格浮动、天气变化和其它这类随机性现象的可能性。最后，双方自然而然地达到了这样一个共识，那就是，这项经济学研究值得一试。安德森回忆说：“当时我们全都说，将此列入研究计划是有可能的。当代均衡经济学无法预测里德所谈及的经济震荡，这个经济学究竟缺少了什么呢？”

尽管如此，桑塔费方面的人还是表现得机智小心。虽然考温和他的同事们急需花旗银行的资金，但他们十分明确地对里德表示，他们无法保证会有奇迹出现。他们的一些想法也许会有用，但这是一个非常冒险的计划，也许会一无所获。这

个羽翼未丰的研究所最需要的是过高的期望和开空头支票。如果他们承诺他们无法办到的事，那无异于自杀。

里德说，他完全能够理解。他回忆说：“我的想法是，我不认为我们非要实实在在地得到某种具体的结果。”他只需要一些新的思想。所以他保证不加以时间上的限制，甚至不限制是什么样的具体成果。如果桑塔费研究所能够开始着手这项研究，并一年年地取得明显的进展，这就足够了。

“里德的话点燃了我对从事这项研究的热情。”安德森说。他们同意，下一步的工作是召开一个会议，一个扩大的研讨会，出类拔萃的经济学家和物理学家可以坐在一起研究讨论各种问题，拟出一个切实可行的研究计划。如果里德愿意为此捐资几千美元，桑塔费研究所就可以开始着手这项工作了。

这笔交易就这样谈成了。第二天早上，里德和他的助手们五点钟起床，坐轿车前往桑塔费机场。里德希望尽早赶回东海岸的纽约，开始一天繁忙的工作。

肯尼思

不，戴维，安德森说，我没时间来组织这个经济学研讨会。

但是菲尔，潘恩斯在电话中说，你在和里德交谈时说了许多有趣的事。这个新的研讨会将是一个妙不可言的机会。你来邀请物理学家，然后我们再邀请最优秀的经济学家，组成研讨会的另一半成员。

不行。

听我说，潘恩斯说，我知道这又给你添了一件事。但你想，你会发现这事真的非常有趣，考虑一下吧。和夫人谈谈看。如果你答应了，我会帮助你的。你不用老是呆在桑塔费。

好吧，安德森叹道。好吧，戴维，我做就是了。

安德森虽然已经答应了下来，但却不知从何处下手。他从来就没有组织过这样的研讨会。但谁又干过这事呢？好吧，很显然，要做的第一件事是找一个能挑头为研讨会邀请另一半经济学家的人。他起码还认识一个经济学家：耶鲁大学的詹姆士·托宾（James Tobin），他曾和他上同一个高中，比他高几届，正巧也是诺贝尔经济奖得主。吉米，他在电话上说，你对这样的事感兴趣吗？

不，我不感兴趣。托宾在听安德森解释完他想让他干的事之后说。他不是一个人合适的人选。但斯坦福的肯·阿罗也许会感兴趣。事实上，如果安德森愿意的话，他很乐意给阿罗打个电话。

托宾肯定在电话上有一番精彩的描述。当安德森给阿罗打电话时，阿罗确实表现得兴趣十足。“我和肯在电话上聊了挺长时间。”安德森说。“结果我们发现我们俩的观点非常接近。”虽然阿罗是当今主流经济学的创始人之一，但他也像安德森一样，对传统理论持有一些反叛的态度。他太清楚常规经济学理论的弱点之所在了。其实他比任何批评家都能更明确地阐述其弊端。他偶尔也发表被他称之为“持不同意见”的论文，呼吁新的思想方法。他鼓动经济学家把更多的注意力放到人类心理学上来。比如，他最近对把非线性数学和混沌理论应用于经济学十分感兴趣。所以，如果安德森和桑塔费研究所的人认为能够探得新的方向——“嗯，这听上去没法不是一件有趣的事。”他说。

所以安德森和阿罗就着手开列名单，用与邀请创建期研讨会成员的同样标准为这次研讨会选择人选。他们需要那些有杰出学科背景，但又思想开放的人参加这个研讨会。

在阿罗这方，他认为他需要一些对正统经济学了如指掌的人。他不介意别人批判常规经济学，但他们最好要非常清楚地知道自己在批判些什么。他考虑了一会儿，写下了几个名字。

然后，他需要有一个偏重经验的人掺和进来。他想，只有对新古典经济学理论有坚实知识的人参加这个研讨会是不利的。你需要有人提醒你注意那些常规经济学对现实的不能解释之处。让我想想。也许那个去年他听到过他演讲的人会是个人合适的人选，就是那个一直在从事人口统计学方面的研究，一直在谈论报酬递增率的人。他的研究不错。

阿瑟·布赖恩。他在名单上写下这个名字。

第三章 造物主的秘密

1986 年秋天，当菲尔·安德森和肯·阿罗正在为经济学研讨会开列参加者名单时，乔治·考温正在和桑塔费教区的克里斯特雷修道院商谈三年租赁期的交易。这个砖砌平房结构的建筑物坐落在被称之为坎杨路的一条蜿蜒弯曲的小路上，正好紧挨着画廊林立的昂贵地段。

该是研究所正式运作的时间了。迄今为止，麦克阿瑟基金会这类的基金组织已经开始逐笔拨给研究所运作基金，考温和他的同事们已经为研究所招聘了一些职员。这些职员急需自己的办公空间。而且，随着经济研讨会和其它研讨会的安排，研究所也迫切需要有办公空间来置放办公桌和电话，让来访的学者有地方工作。考温觉得这个修道院虽小，但足够开展工作，尤其是在价格上便宜得让人没法放手。所以到了 1987 年 2 月，研究所的职员就搬进修道院来办公了。几天之内，这个狭小的空间就塞满了东西。

一片混乱

拥挤从来就没有得到过缓解。1987 年 8 月 24 日，当布赖恩·阿瑟第一次踏入前门时，差点儿就摔倒在前台接待员的桌子上。这张接待桌挤在大门后一个狭小的凹处，只留下一英寸左右的空地。门打开，走廊上排满了满箱满箱的书籍和论文，复印机被塞在一个柜子里，一个职员的“办公室”就在楼道里，整座房子一片混乱。然而阿瑟却对这个地方一见钟情。

“我不可能想象出一个比这儿更适合我的兴趣和性情的地方了。”他说。这个混乱不堪的修道院在和平、隐蔽和安宁之中不知怎地却透出追求知识的活力。研究所的项目主任金戈·里查德森（Ginger Richardson）出来迎接他，带他四处参观。她带着阿瑟踩着铺着皱皱巴巴的亚麻地毯的地板观看门上那些可爱的手工艺装饰、擦得锃亮的灯罩和装潢精制复杂的天花板。她告诉他怎样穿过从前修道院院长的办公室，现在是考温的所长办公室的地方，到艾森豪威尔时期的厨房去用咖啡，领着他参观由以前的小教堂改装的大会议室。会议室的另一端墙原来

是个祭坛，现在挂着涂满了方程式和图示的黑板。光线透过彩色玻璃射进来，摇曳不定地投洒在黑板上。她还带他参观一排拥挤狭小的办公室，那曾经是修女们的寝室，现在这里挤塞着廉价的金属办公桌和供打字员使用的椅子。从办公室的窗子望出去，是一个洒满阳光的院子，可以透过窗户眺望到远处的桑格里德克里斯托山脉。

阿瑟是第一次来新墨西哥，早就沉浸在兴奋迷离的情绪中了。桑格里德克里斯托山脉、明媚的沙漠阳光和晶莹剔透的沙漠景观对他的感染和震撼，不亚于对几代画家和摄影家的感染和震撼。但他立刻感觉到这个修道院有一种特殊的魅力。“整个气氛让我无法置信。”阿瑟说。“当我随意翻阅那些陈列的书籍和置放在四周的论文，我感到一种自由自在和无拘无束的气氛。我真不敢相信还有这样的地方存在。”他开始预感到这个经济研讨会也许真的会非常令人激动。

在这种办公条件下，前来访问的学者们常常是三两个人挤用一间办公室，他们把自己的名字写在纸上，贴到自己的办公室门上。有一次阿瑟发现了一个他十分想见的人的名字：宾夕法尼亚大学的斯图尔特·考夫曼（StuartKauffman）。两年前，在布鲁塞尔的一个学术会议上，阿瑟短暂地见过一次考夫曼。当时考夫曼关于发育中的胚胎细胞的演讲给他留下了极为深刻的印象。考夫曼的观点是，细胞传送化学信息，导致胚胎中其他细胞的发育，形成一个自我连续的网络，这样就产生出一个相互关联的生物体，而不仅仅是一团原生质。这个概念呼应了阿瑟关于人类社会是个自我连续、相互支持、相互作用的网络的想法。他记得他从那个学术会议回来后对他的妻子苏珊说：“我刚听了生平最精彩的一场学术报告。”

所以，他刚把自己的办公室安顿停当，就转悠到考夫曼的办公室。你好，他说，你还记得我们两年前见过面吗？

嗯，不怎么记得了。考夫曼忘了这回事。但请进来吧。四十八岁的考夫曼皮肤晒得黝黑，有一头卷曲的头发，穿着加利福尼亚休闲装，态度非常和蔼亲切。阿瑟的态度也同样和蔼亲切，那天早上他处于一种想爱一切人的情绪中。两人的交谈很快就变得热烈了起来。“斯图是个非常热情的人。”阿瑟说。“他是一个你觉得愿意去拥抱的人。我并不是个喜欢到处去拥抱别人的人。但他就是这么个性格可爱的人。”当然，他们很快就开始探讨起了经济学。起初，他们有满脑子的

话题，却不知对方想听些什么。阿瑟开始告诉考夫曼关于他在报酬递增率方面的研究。“这是个很好的开始，斯图尔特从这儿介入话题，向我谈及他最近的一些想法。”

事情往往就是这样的。阿瑟很快就得知，考夫曼是一个有非凡的创造性的人，他就像一个作曲家，头脑里总是无止无休地跳跃出美妙的音符。他没完没了地发表自己的看法，对人谈起话来速度飞快。确实，这好像是他思考问题的一种方式：用大声把自己的想法说出来的方式来进行思考。他不断地谈论、不断地谈论。

他的这一特点已经在桑塔费研究所众所周知了。在前一年的相处中，考夫曼就已经变成了一个无所不在的人。他是一个罗马尼亚后裔，继承了一小笔房产和保险业，所以成为能够在桑塔费买第二所住处，可以在这儿一住就是半年的少数几个科学家之一。在每一次研究所召开的研讨会期间，都可以听到考夫曼用他优美而自信的男中音不断地提出各种建议。在每个学术讨论会的问答时间里，都可以听到他大声思考关于如何将所谈内容形成概念的问题。“让我们想象有一组灯泡被随机地连接在一起，好吧，然后……”在会议期间的任何时候都可以听到他对任何愿意听他说话的人大谈他最近的一些想法。有传闻说，曾经有人听到他对一个复印机修理工解释他在理论生物学上的一些观点。如果他身边没有别的访客，他很快就会对离他最近的同事不断解释他已经重复过一百遍的东西。没完没了，不厌其烦。

这已经足以使他最好的朋友都大喊着受不了，落荒而逃了。但更糟糕的是，这使考夫曼因过于自我中心、唠唠叨叨和缺乏安全感而著称，尽管有些同事回过头来会说，他们还是非常关心考夫曼的。他们会非常愿意告诉他：“确实，斯图尔特，这个想法大妙了。你真是非常聪明。”但不管大家对考夫曼的真实感受如何，考夫曼都无法自控。这二十五年来，他一直被一种景象所控制——这个景象如此强有力、如此不可抗拒、具有如此震慑人心的美，他根本就无法不被它所紧紧吸引。

最接近对这个景象解释的英文词是“秩序”。但就是这个词也无法抓住考夫曼所说的意思。听考夫曼谈论秩序就像听用数学、逻辑和科学语言谈论某种原始的玄学。对考夫曼来说，秩序就是对人类存在的奥秘的回答，它解释了在这个似乎是被偶然因素、混乱和盲目的自然法则所支配的宇宙里，我们怎么会作为有生

命的、会思考的生物出现并存在的。对考夫曼来说，秩序告诉我们，人类确实是大自然的偶然产物，但又不仅仅只是偶然的产物。

确实，考夫曼总是急忙补充说，达尔文完全正确：人类和所有其他生命体无疑都是四十亿年随机变化、随机灾难和随机生存竞争的产物。我们人类并不是上帝的发明，或太空外来人。但他会同时强调说，达尔文的自然选择法也并不是人类存在的故事的全部。达尔文并不知道事物存在自组织的力量，即：将自己组织成日益复杂的系统的持续力量，尽管事物也像热力学第二定律所描述的那样，同时也存在永远趋于解体的持续力量。达尔文也并不知道，秩序和自组的力量创造了有生命的系统，就像创造了雪花这种形式，或一锅沸腾的汤的热汤分子对流的现象。所以考夫曼宣称，生命的故事确实是一个偶然现象和偶然事件编织而成的故事，但这也是一个关于秩序的故事：它表现了一种融于大自然的经纬之中的深刻的、内在的创造力。

“我喜欢这个故事。真是很喜欢这个故事。我的整个生命就是这个故事的一幕幕的呈现。”

秩序

走在世界上任何一个科学研究所的走廊上，你会很容易就透过一个办公室敞开的门看到墙上贴着一幅爱因斯坦的画像：爱因斯坦裹着一件大衣，心不在焉地走在普林斯顿大学的雪地上；爱因斯坦神情专注地凝视着照相机镜头，破旧的毛衣领子上别着一支自来水笔；爱因斯坦咧开嘴大笑，对着全世界伸舌头。这个相对论的创立者几乎是大家共同的科学英雄，是深邃的思想和自由的创造精神的象征。

在五十年代初，爱因斯坦当然是加利福尼亚州萨克拉门托的一个名叫斯图尔特·考夫曼的男孩心目中的英雄。“我极其崇拜爱因斯坦。不，不能用崇拜这个词，应该叫热爱。我热爱他把理论看作是人类心智自由创造的思想，我热爱他视科学为对造物主秘密的探究。”爱因斯坦用 Old One 来比喻宇宙的创造者。考夫曼对 1954 年第一次接触到爱因斯坦的思想仍然记忆犹新。那时他才十五岁，读到一本爱因斯坦和他的合作者雷奥波德·英费尔德 (Leopold Infeld) 合写的一本

关于相对论起源的普及读物。“当时我为能够看懂这本书，或我以为我能看懂这本书而激动万分。爱因斯坦巨大的创造力和自由驰骋的思维使他能够在他自己的头脑中创造出一个世界来。我记得我当时想，有人能这样做简直太美妙了。我记得他去世的时候（1955 年）我哭了。我感到就像失去了一位老朋友。”

在读到这本书之前，考夫曼即使不是个引人注目的学生，也一直是个不是拿 A 就是拿 B 的好学生。但在这之后，他的热情被点燃了，倒不一定是被科学点燃的。他不觉得他必须亦步亦趋地跟随爱因斯坦的脚步走。但毫无疑问他感到有了一种与爱因斯坦同样的想洞悉事物内部秘密的欲望。“当你观看一幅立体派油画，看到上面隐在的结构——那就是我想探索的。”事实上，他对此表现出来的最直接的兴趣根本就不是在科学方面。少年时期的考夫曼热衷于当个剧作家，探测人类灵魂里的黑暗和光明。他的第一部作品，和他高中时的英语教师弗莱德·托德合作写的一个音乐剧本简直“糟糕透顶”。但他对被一个真正的大人很当回事地来对待而激动不已。那时托德二十四岁，与托德的合作是启发考夫曼的知识觉醒的很关键的一步。“尽管那不是一部很好的音乐剧，但如果我十六岁时就能和弗莱德合作写出一部音乐剧来，那还有什么不能做到呢？”

所以当斯图尔特·考夫曼 1957 年进入达特茅斯时，他已经完完全全是一个剧作家了。他甚至还抽烟斗，因为他的一个朋友告诉他，如果你想成为一个剧作家的话，你就必须会用烟斗抽烟。当然，他继续写剧本：他与他大学一年级的同屋、高中开始的小伙伴麦克·迈格雷合作，又写了三部剧。

但很快，考夫曼就发现他创作的剧本的问题：剧中人物发表许多武断的意见。“他们喋喋不休地探讨生命的意义和怎样才算一个好人。他们只是谈论这些，却没有行动。”他开始意识到，他对剧本本身的兴趣远不如对他剧本中的人物想探索的思想要大。“我想寻找到通往某种隐在的强大而神奇的东西的通道——虽然我说不清楚那究竟是什么。当我发现我的好朋友狄克·格林将要去哈佛大学攻读哲学时，我感到非常懊恼。我希望我也能够成为一个哲学家。但我当然只能做一个剧作家。放弃做一个剧作家，就意味着放弃我正在为自己设想的身份。”

他回忆说，他思想斗争了一个星期才想透彻：“我不一定非要当一个剧作家，我可以成为一个哲学家！所以在后来的六年中，我以极大的热情投入到对哲学的研究之中。”当然，他从伦理学开始学起。作为一个剧作家，他想弄明白善与恶

的问题。除此之外，作为一个哲学家他还能学点别的什么呢？但很快他就发现自己又喜欢上了别的东西。他的兴趣转移到了科学的哲学和思维的哲学上来了。他说：“对我来说，它们似乎是深透之所在。”什么是可以用来发现世界本质的科学？什么可以用来了解世界的心智的科学？

在这股求知热情的驱使下，考夫曼在 1961 年以第三名的成绩毕业于达特茅斯大学，继而又获得了牛津大学 1961 年至 1963 年的马歇尔奖学金。结果，他没有直接去牛津大学。“在必须到牛津报到之前我有八个月的时间，所以我做了唯一的一件理性的事情：我买了一辆大众车，开着它到阿尔卑斯山去滑雪。我有奥地利圣·安东最尊贵的地址，波斯特旅馆。我把车停放在旅馆的停车场，整个冬天都使用那个旅馆的盥洗室。”

他一到牛津就发现这儿的环境非常适宜于他。他至今仍然能够数出他这一生中最使他激动的三个学术环境，牛津便是第一个。“我生平第一次发现我周围的人都比我聪明。美国人在那里也是人才济济。有罗德奖学金获得者，马歇尔奖学金获得者。其中有些人已是很知名的人物了。那时和我们一批的莫德林学院的 (Magdalene) 戴维·苏特 (David Souter)，现在供职于最高法院。乔治·F. 威尔 (Geofge F Will，美国著名新闻评论家及专栏作家) 和我曾经总是去吃印度餐厅，逃避学院的伙食。”

对科学与思维的强烈求知欲使考夫曼在牛津选择了哲学、心理学及生理学课程。这些课程不仅只包括传统哲学，而且更注重当代对视觉系统的神经分析和对脑部神经联系的更为广泛的模拟。总之，这门课致力于从科学的角度来研究思维的运作。他的心理学导师名叫斯图尔特·苏瑟兰德 (Stuart Sutherland)，他后来成为又一位很有影响的人物。苏瑟兰德喜欢坐在他的书桌后面，连续不断地把问题抛给他的学生，让他们做思考体操：“考夫曼！视觉系统是怎样区分投射到视网膜相邻的两个锥体上的两个光点的？”考夫曼发现他喜欢面对这类富有挑战性的问题。他发现他有能力当场想出各种方案，作出有说服力的回答。（“嗯，眼睛并不是静止不动的，它在轻轻移动。所以，也许当你刺激多个视网杆和视网膜时……”）确实，他承认这样即兴建立模型使他养成了一种习惯。从此以后，他一直在或这样或那样地即兴建立模型。

但是，他也不得不承认，不无讽刺的是，正是这种可以即兴建立模型的能力

使他放弃了哲学，趋向某种更为切合实际的方向：医学院。

他笑着说：“在某种程度上，我认为我永远也不可能成为一个伟大的哲学家。我的论点是：我永远也不会有康德那么聪明。而除非你能像康德那么聪明，否则成为一个哲学家就没有什么意义。所以我应该去读医学院。你会注意到，这不是一个推理。”

当真地说，其实是因为他那时对哲学感到厌烦了。他说：“这并不是说我不再热爱哲学了。而是我不相信哲学中的某种轻浮性。当代哲学家们，或起码是五十年代和六十年代的哲学家们，总认为自己是检验概念和概念的意义，而不是在检验这个世界的现实。所以你可以发现你的论点是否中肯、是否得当、是否连贯等等，但却无法发现你是否正确。这最终引起了我的不满。”他希望做深入现实的探究，希望洞察造物主的奥秘。“如果可以选择，我情愿做爱因斯坦，而不做维特根斯坦（Ludwig Wittgenstein，奥地利籍著名哲学家）”。

更重要的是，他不敢信任自己身上轻浮的弱点。“我始终非常擅长于概念性的东西。”他说。“往最好的说，这是我性格中最为深刻的一面，是上帝赐予我的天赋。但往最坏的说，这是圆滑取巧，是肤浅。因为我有这种焦虑，所以我对自已说：‘去读医学院吧。那些坏脾气的女人生的儿子们是不会让我光耍嘴皮子，到处卖弄知识的。因为我不得不照顾病人，他们会迫使我去了解大量的事实。’”

事实确实如此。但不知为什么，医学院和病人并没有改变考夫曼喜欢玩思想的习惯。其实医学从来就不曾真正有机会改变考夫曼。因为他从来就没有读过任何医学预科的课程，所以他就安排自己于 1963 年秋季去柏克莱大学读一年的医学预科，然后再进入海湾另一端旧金山市的加利福尼亚大学医学院。于是，就是在柏克莱，他修了最初的发育生物学课程。

他被这门课程强烈地震撼了。“这里有绝对令人震惊的现象。”他说。“从一个受精卵开始，然后这东西逐渐发育，变成了一个有秩序的新生命，然后又变成一个成熟的生命。”不知为什么，单个的受精卵能够分裂，变成不同的神经细胞，肌肉细胞和肝脏细胞，以及上百种不同的细胞，这个过程精确到万无一失。奇怪的不是生而缺憾的悲剧常有发生，而是大多数新生命一出生就完美无缺。“这至今仍然是生物学中最美丽的奥秘之一。”考夫曼说。“我整个儿地被细胞分化的问题给迷住了，马上就投入到对这个问题的深入思考。”

那时是做这项研究的一个大好时机：从 1961 年一直到 1963 年，雅各布（Jacob）和莫纳德（Monod）刚发表了他们关于遗传回路（genetic circuits）的一系列论文。这项工作使他们后来获得了诺贝尔奖。（这正是阿瑟 16 年以后躺在夏威夷海滩上读到的论著。）而考夫曼很快就读到了他们的观点。他们论述说，任何细胞都包含着几个“调节”基因（regulatory genes），这些调节基因就像开关一样，能够打开或关闭其他基因。“他们的研究成为所有生物学家的启示录。如果基因能够相互打开和关闭，那么就会有遗传回路。在某种意义，基因组（genome）就会是一种生化计算机。正是整个系统的这种计算机行为，即有秩序的行为，以某种方式决定了细胞之间的差别。”

但问题是，这些细胞差别是怎样形成的呢？

考夫曼说，其实，大多数研究人员曾经（在这点上，甚至到现在）都并不过于为这个问题操心。他们谈论着细胞的“发育程式”，仿佛 DNA 计算机真的像 IBM 主机执行用 FORTRAN 语言编写的程序一样执行遗传指令：一步一步地逐条执行。更有甚者，他们好像相信这些遗传指令是精确无误的组织，就像任何人编写的计算机代码一样被自然选择法完全排除了误差。怎么可能不是这样的呢？遗传程序中的最微小的错误都会导致一个发育中的细胞的癌变，或可以将之完全置于死地。这就是为什么成百的分子基因学家早就开始在实验室里努力译解精确无误的生化机制，研究在这个生化机制中基因 A 是如何打开基因 B 的，基因 C、D、E 的活动又是如何影响整个开关过程的。他们认为，一切都在这些细节之中。

但考夫曼越是思考这幅图景就越是发现，细胞差别是怎样形成的这个问题正赫然耸立于眼前。基因组就像计算机，很好，但它又完全不是 IBM 公司生产的计算机。他发现，在一个真正的细胞里，许许多多的调节基因可以同时作用。所以，基因组电脑不像人类制造的计算机那样逐步执行指令，而是同步地、平行地执行大多数，或所有的遗传指令。他推理，如果情况真是这样的话，那么，重要的不在于是否这个调节基因精确地按照界定好的顺序激活了那个调节基因。而是这个基因组作为一个整体，是否能够安顿下来，将活性基因组合成一个稳定的、自我连贯的形态。调节基因最多也许能经历两个、三个或四个不同构型的循环，总之数目不多，否则细胞就会到处乱串，基因随机地相互开闭，陷于混乱状态。当然，肝脏细胞内活性基因的形态与肌肉细胞或脑细胞内的活性基因形态会非常不同。

但考夫曼想，也许这正是重要之处。单个的基因组能够有许多稳定的行为形式这一事实，也许正是发育过程中能够产生许多不同细胞类型的致因。

人们都心照不宣地假设，细节就是一切。考夫曼对此感到十分困惑。他知道，生物分子的细节显然是十分重要的。但如果基因组必须被组合和调整到尽善尽美才能发挥作用，那它怎么会从随机的试验和进化的错误中诞生呢？这就像老老实实地洗一整副牌，却拿到一手的黑桃一样：不是没有这个可能，但这种可能性不大。“这感觉就不对。”他说。“别指望上帝或自然选择法会做到这一步。如果我们只能用大量详尽的、自然选择过程中未必能发生的细节来解释生物的秩序，如果我们现在所见到的从一开始都经历过艰难的挣扎，那我们今天就不会存在于此了。只有足够的宇宙空间和时间上的机遇并不能产生这一切。”

事情肯定不止于此。他想。“不知为什么，我想证明秩序是最初就出现的，并不是后天置入和演化出来的。我有意识地要证明，在遗传调节系统中，秩序是天然而成的，带有不可避免的性质。秩序以某种方式自由地存在于事物之中，它是自动形成的。”他推测到，如果情况果真如此，那么，生命的这个自动而自组的特征就正好和自然选择法背道而驰。根据达尔文的描述，任何一种生物体的精确的遗传详况都是随机演变和自然选择的产物。但生命本身的自组，即秩序，却具有更深刻、更根本的含义。秩序纯粹地产生于网络结构，而不是产生于细节。事实上，秩序是造物主的头等奥秘。

“我不知道我哪来的这股冲动。”他说。“为什么斯图尔特·考夫曼凑巧来到这个世界，而且对秩序问题发生了兴趣？这整个儿就是个绝妙的谜。一个人的头脑能够对这个问题感到新鲜好奇，能够提出这类的问题，这使我感到既奇怪又惊喜。只是我这一生都有这样的感觉：好像我从事过、热爱过的所有科学研究，都是为解开这一谜团所做的努力。”

确实，对一个二十四岁的医科大学预科生来说，关于秩序的问题就像他身上的一直不消的痒处。他好奇地想，遗传秩序自由地存在究竟意味着什么？好吧，就让我们看一看在真正的细胞里发现的遗传回路吧。它们显然经过几百万年进化的精加工。但另一个问题是，它们真的有什么特别的吗？在无数可能的遗传回路中，他们是唯一能产生有秩序的稳定构型的遗传回路吗？如果是这样的话，那它们就是一把黑桃牌的类似物了。进化居然能幸运到产生它们，那就真是个奇迹了。

或者，稳定的网络就像拿到一手黑桃、红桃、草花和方块混合牌一样通常吗？因为如果情况果真是这样的话，那进化偶然选择了有用的遗传回路，就是一件轻而易举的事了。真正的细胞中的网络就会是正好凑巧通过了自然选择的那个了。

考夫曼认为，寻找到答案的唯一方法就是洗牌，拿出一组完全典型的遗传回路，看看它们究竟会不会产生出稳定的构型。“所以我立刻就想到，如果把几千个基因随机地连挂在一起会发生什么呢？它们会产生什么效果？”

现在他知道他该如何思考这个问题了。他在牛津学过神经回路，他知道，真正的基因当然会相当复杂，但至少雅各布和莫纳德已经告诉过我们了，调节基因基本上只是开关。而一个开关的本质就是来回于两种状态之间：激活的状态和熄灭的状态。考夫曼喜欢把它们想成是电灯泡（开或关），或想成是一个逻辑状态（真的或假的）。但他觉得不管把它们想成是什么意象，却正是这种开或关的行为形成了调节基因的本质。剩下的只是相互作用的基因网络的问题了。当时柏克莱大学的自由演说运动正在校园蓬勃兴起，考夫曼却把他的课余时间都消遣在奥克兰他的公寓的楼顶上。他坐在那上面入迷地画着连挂在一起的调节基因的网络图形，力图搞清楚它们是怎样相互打开和关闭的。

考夫曼对研究基因网络确实十分入迷，甚至一直到他完成了在柏克莱的医学院预科课程，回到旧金山，开始了医学院全日制课程以后，他还沉迷在这里面。这并不是因为他已经对医学院感到厌倦了，恰好相反：他发现医学院课程的难度非常非常大。他的老师要求他死记硬背堆积如山的课本知识，极端痛苦地做肾脏的生理结构分析之类的功课。但尽管如此，他仍然一门心思想学医。学医迎合了他内心的童子军精神：在任何情况下，行医都是做有益的事，同时又能让准确地知道该如何去做，就好比在风暴中搭帐篷一样。

然而，考夫曼继续他的基因网络游戏，因为他几乎无法自控。“我狂热地想从事对这些随机基因网络的奇怪科学的研究。”他的药物学考试得了C。“我的药物学课程的笔记本上涂满了遗传回路的图表。”他说。

起初，他发现遗传回路使他感到非常困惑。他懂得很多抽象逻辑，但却几乎没有数学知识。他在图书馆找到的计算机教科书对他几乎毫无帮助。“当时，自动机理论早已建立，这个理论所论述的就是逻辑开关网络。这些书告诉我如何合成一个能够发挥作用的系统，或复杂自动机功能的一般限制何在。但我感兴趣的

是复杂系统的自然法则。秩序从何而来？当时没人思考这些问题。当然只是据我所知是没人思考这些问题。”所以他继续画他的随机遗传回路图表，极力去直观感觉这些网络的行为模式。当他需要用到数学时，他就尽自己的能力来发明数学公式。

很快他就发现，如果每一个基因都被许多其它基因所控制，使基因网络变得像一盘意大利面条一样稠密地纠缠在一起，那么整个系统就会猛烈动荡，陷于混乱局面。就拿电灯泡来比喻，那就会像一个巨大的拉斯维加斯广告牌线路错乱了，上面所有的灯光都乱闪一气，完全没有秩序。

考夫曼同样想到，如果每个基因最多只被另外一个基因控制，基因网络非常稀松地连接，那么，网络的行为模式就过于简单了。这就会像一个广告牌上大多数灯泡都只会像没有头脑的夜总会频闪灯光那样枯燥地开开关关。而那不是考夫曼想象的秩序。他想要的遗传灯泡是能够将自己组织成有趣的行为形式，就像随风摇曳的棕榈树或翩翩起舞的火烈鸟一样。另外，他知道非常稀松地连接的网络是不现实的：雅各布和莫纳德已经证明了，真正的基因通常都受控于好几个别的基因（今天，我们知道典型的数额是两个到十个）。

所以考夫曼就取其中间数。这样的网络连接既不十分稠密，也不十分稀疏。在实际操作上，为了让事情更简单些，他取每个基因只有两条输入的网络。他发现了隐含着特殊意义的现象。他早就知道，稠密连接的网络会非常敏感：如果你深入进去，调节任何一个基因的状态，比方说，从打开的状态调节到关闭的状态，那就会引发雪崩现象，导致网络像瀑布一样无止无休地来回翻滚。这就是为什么稠密相连的网络总是趋于混乱状态的原因。它们永远不可能安顿下来，但在只有两个输入的网络中，考夫曼发现，开关一个基因并不会引起连续扩散的变化波动。在大多数情况下，被触及的基因会恢复到原来的状态。事实上，只要基因活动的两种形态相差不是很大，它们就会趋于会聚。“事情变得简单了。我能够看见电灯泡趋于进入开或关的状态。”考夫曼说。换句话说，两条输入的网络就像一盏灯光一样随意闪烁，却又总是能够自己组织成火烈鸟或香槟酒杯图案的广告牌。

秩序！考夫曼利用医学院课程外的一切业余时间来研究它。他在笔记本上画上了越来越多的两条输入的随机网络图，详尽地分析每一个网络的行为方式。这是一项既引人入胜、又令人困惑的工作。关于这项工作的好消息是，两条输入的

网络好像总是能够很快地稳定下来。在最好的情况下，它们能够在几种不同状态中循环往复。这正是一个稳定细胞的状况。关于这项工作的坏消息是，他并不知道他做的两条输入的模型和真正的遗传调节网络有什么相干。真实细胞中的真实网络包含了几万个基因，而考夫曼用铅笔和纸画的网络在达到不过五个或六个基因时就已经容纳不下了。要追踪一个包含七个基因的网络的所有可能的状态和状态的转变情况，意味着要填满 128×14 的矩阵。如果要做一个包含八个基因的网络，就要求把这个矩阵扩大一倍，并以此类推。“而手工操作导致误差的机率简直大得无可避免。”考夫曼说。“我一直眼巴巴地看着我的七个基因的网络，简直无法忍受要画包含八个基因的网络图的念头。”

“不管怎么说吧，在我读到医学院二年级时，我无法再继续下去了。这个游戏我玩得时间够长的了。所以我穿过大街，来到计算机中心，询问是否有人能够替我编个程序。他们说，‘当然可以。但你得付钱。’所以我掏出钱包。我很乐意付这笔钱。”

在决定让计算机代劳后，考夫曼发誓要全力以赴：他要模拟包含一百个基因的网络。回想起这件事时，他笑了。好在当时他并不完全知道他在做什么。让我们这么想一下：单个的一个基因只能有两种状态：开或关。但包含两个基因的网络就可以有 2×2 ，或者说，四种状态：开——开、开——关、关——开、关——关。一个包含三个基因的网络就可以有 $2 \times 2 \times 2$ ，或 8 种状态，依此类推。这样，在一个包含 100 条基因的网络里可能出现的状态就是 2 的 100 次方，也就是相当于 100 万兆兆，也就是 1 的后面跟着 30 个零。考夫曼说，这就产生了无穷无尽的可能性。更重要的是，从原则上说，没有理由说明为什么他模拟的网络不能够随机漫游于这个空间之内。他是故意让他们随机连接的，而这将意味，他的关于细胞循环的想法根本没有希望得到证实：计算机必须经过 100 万兆兆的状态转变后才会出现重复的情况。这将把是各种状态都持过一遍的细胞循环，这个过程无边无际到了超过想象力。考夫曼说：“如果计算机从一种状态过渡到另一种状态需要万分之一秒，则让计算机运转 100 万兆兆微秒，就要花比宇宙历史漫长几十亿倍的时间。我根本不可能在读医学院期间完成这个实验！”光是付计算机的上机费，就足以让考夫曼在从医学院毕业之前就破产。

但幸运的是，考夫曼当时并没有做这个运算。在一位对他帮助颇大的计算机

中心编程员的帮助下，他的包含 100 个基因的两条输入的模拟网络编码后，就轻松地将一堆打了孔的卡片交给了前台。十分钟以后，结果就出来了，打在了宽幅报表纸上。这结果正像他所期待的那样，表明网络很快就稳定地安顿在有秩序的状态之中，大多数基因只固定在开或关的状态，其它基因在几种不同的形态间循环。这些形态看上去当然不像火烈鸟或任何可以辨认的东西。如果这个包含了一百个基因的网络是一个有一百个电灯泡的拉斯维加斯广告牌的话，则这些有秩序的状态看上去就像振动不停的斑驳图案。但它们确实存在，而且非常稳定。

“这简直太令人激动了！”考夫曼说。“无论是那时还是现在我都觉得我的这个发现具有很深远的意义。它不是任何人能够凭直觉臆想出来的。”两条输入的网络并不是在 100 万兆兆种状态中漫游，而是很快就移入这个空间的一个极小的角落滞留了下来。“它安顿了下来，在五个、六个、七个，或更多的状态中，典型的是在大约十种状态中徜徉、循环，形成惊人的高度秩序！我简直就被这个结果震惊了。”

最初的模拟只是一个开始。考夫曼仍然搞不清楚稀疏相连接的网络为什么会这样神奇。但它们就是如此神奇，他感到这个结果让他完全从一个全新的角度来看待基因和胚胎的发育过程。他用最初的方法做为样板，并在这个基础上加以改进，又做了无数个类型的模拟。他想知道，这种有秩序的行为是什么时候出现的？为什么会出现？同时他也想知道如何用真实的数据来检验他的理论？

他想，根据他模拟的模型，一个很显然的推断就是，真正的基因网络必须是疏松地相互连接的。稠密连接的基因网络似乎无法在稳定的循环之中安顿下来。他并不指望真正的基因网络全都像他模拟的基因网络一样都只是两条输入。大自然从来就不是这么规范的。但他的计算机模拟和他所有的计算使他认识到，从某种统计学意义上来说，基因网络只能是稀疏相连的。当你观察数据，就会发现真正的基因网络似乎就像模拟的那样稀疏。

到目前为止一切进展得还不错。另一个对理论的测验是观察一个含有一组调节基因的特定的生物体，弄清楚它能够产生多少细胞类型。当然，考夫曼还处于专门研究基因网络的典型行为表现的阶段，还说不出什么特别的东西来。但他肯定可以从统计上观察到与之相关的内容。他一直有这样一个假设：一个细胞类型会呼应它所属于的稳定状态的循环，所以他的模拟越做越大。他一直跟踪了解，

随着网络模拟规模越来越大，到底会出现多少状态的循环。当他做到对包含四百至五百个基因的网络进行模拟这一步时，他得出的结论是，循环的次数大致相当于网络内基因数的平方根。同时，他还利用课余时间到医学院的图书馆去翻阅大量难懂的参考资料，寻找真正生物体的比较性数据。为此他费尽了周折，但总算有了结果：生物体中细胞类型的数额确实大致相当于该生物体中基因数的平方根。

事情就这样进行着。“见鬼，我真的成功了！”考夫曼说。这是他经历的最辉煌的一件事。当医学院二年级结束时，他花在计算机上的费用已经累计到好几百美元了。但他毫不痛惜地付清了这笔费用。

1966 年，在医学院三年级开学的时候，考夫曼写了一封信给麻省理工学院的神经生理学家沃伦·卡洛 (Warren McCulloch)，向他解释他在基因网络方面所做的研究，并问他是否感兴趣。

考夫曼承认，写这封信有些鲁莽。卡洛本人最初也是医学博士，是神经生物学方面的巨子之一，更别说他在计算机科学、人工智能和思维哲学方面的贡献了。在过去的二十年间，他和他忠实的追随者们研究发现了思想的内含意义，最初发表于 1943 年的研究结果是他和十八岁的数学家沃尔特·匹茨 (Walter Pitts) 合写的论文，题目是“内在神经活动之逻辑微积分”。在那篇论文中，卡洛和彼兹宣称，大脑可以被模拟成逻辑运行的网络，比如“和”、“或”、“不是”等等。在当时，往轻了说，这也是一个革命性的思想，产生了极大的影响。卡洛—匹茨的模型不仅是现在被称之为神经网络的第一个例证，而且也是将大脑活动当作一个信息处理形式来认识的最初尝试——正是这一认识激发了人工智能和认知心理学的诞生。他们的模型首先指出，非常简单的逻辑通道之网能够产生极其复杂的计算结果。这一发现很快就被普遍地运用到计算机理论中了。

但不管卡洛是不是一个科学巨子，考夫曼觉得他是唯一能够分享他的研究成果的科学家。“卡洛是我知道的唯一的一个在神经网络方面做了大量研究的人。而且我很清楚，基因网络和神经网络基本上是一回事。”他说。

另外，考夫曼到了这个阶段非常需要外界的一点儿支持。医学院的教育对他来说是喜忧参半。在医学院他当然获得了他作为一个牛津大学哲学系的学生迫切需要的“事实”，但这些事实却不可能给他提供更深层的结果。“当时我必须按别

人说的来做我应该做的事，这使我内心非常焦躁。在医学院，一个人要做的是掌握事实、掌握诊断法、吸取诊断智慧的精华，然后准确无误地完成整个诊断过程。虽然诊病的过程给我带来了愉悦，但却缺乏我所追求的完美。这不像在探寻造物主的奥秘。”

同时，考夫曼的教授对他探寻基因网络之美颇为不满。“读医学院最为意味深长的事之一就是苦役折磨。”考夫曼说。昼夜值班和没完没了的要求——“目的就在于让你清楚地明白病人至上的道理。你得凌晨四点半起床，开始做你必须做的事。对此我倒一点儿都不介意。但医学院的有些教员自认为自己是医院的卫士，他们认为如果你做为医生没有一种应有的态度，你就永远不可能成为一个真正的医生。”

考夫曼尤其记得他读大学一年级期间的一位外科教授：“他认为我的思想总是溜号。他倒也没错，我记得他告诉我，哪怕我期末考试得了 A，他也会给我的总成绩评 D。我记得我期末考试得了 B，但他仍然给我评了个 D。”

“所以你可以想象，作为一个医学院的学生，脾气古怪。闷闷不乐，外科得了个 D。这对我的情绪有很大的影响。我是马歇尔奖学金的获得者，在学业上一直出类拔萃。而在医学院我却是挣扎度日，我的外科教授告诉我，我是一个多么悲惨的失败者。”

事实上，他在医学院生活的唯一的光明面是他与一个意大利裔美国纽约姑娘伊丽莎白·安·卞奇结了婚。她是艺术系的研究生，考夫曼在牛津遇到她时，她还是个大學生，来欧洲旅行。“我当时正为她撑着一扇拉开的门，心想，嗨，这真是个漂亮的女孩儿。从此我就总是为她撑着门了。”但就连她也怀疑他做的基因网络研究。“丽沙比我要实际得多了。她对医学兴趣非常大，和我一起去上解剖学课程和其它很多医学课程。但对我的基因网络研究，她的反应是：‘挺不错的，但这是真的吗？’对她来说，这网络太虚幻了。”

正是在这种情况之中，考夫曼收到了卡洛的回信：“整个剑桥都为你的研究所激动。”他写到。考夫曼回忆这些时笑了起来。“我一年以后才搞明白，沃伦说这话的意思是，他读了我寄给他的信，认为这很有意思。”

但是当时，卡洛的回信让他又激动又惊讶。他没有想到事情会有这样的结果。他胆壮了起来，回了一封信，解释说，加州大学旧金山分校鼓励医学院三年级的

学生走出校门到别处去实习三个月。他问他是否能利用这段时间来麻省理工学院，和卡洛一起做研究？

卡洛回信说，当然可以。而且考夫曼和丽沙这段时间可以住在他家。

他们立刻就接受了邀请。考夫曼永远也忘不了他第一次见到卡洛的情形：那是在一个冬夜，大约九点钟左右，他和丽沙开着车在黑暗而陌生的马萨诸塞州剑桥街道上转来绕去。他们穿越过整个美国开到这儿，却完全迷了路。“这时他们看见留着长老般胡须的沃伦隐约出现在迷雾中，把我们迎接到他的家里。”沃伦的妻子鲁克端出了奶酪和茶水来款待筋疲力尽的客人，卡洛打电话给麻省理工学院的人工智能小组的第一号人物马文·明斯基(Marvin Minsky)说：“考夫曼来了。”

卡洛是个虔诚的教友派教徒，也是个体贴而又迷人的主人。他高深莫测又奔放不羁，心灵自由地驰跃在广阔的知识天地，以无穷的热情探索思想的内在活动。他行文古风颇健，文章旁征博引，充满了从莎士比亚到圣·伯纳芬图拉(Saint Bonaventura，十三世纪意大利哲学家)的至理名言。然后给文章取名为：《幻想从何而来？》、《思维为何存在于头脑之中？》和《穿越玄学家的洞穴》。他喜欢猜谜、喜欢敏捷巧妙的对话。他是世界上少数能说得过考夫曼的人之一。

考夫曼说：“沃伦常常会把你拖入一个冗长的谈话之中。”曾经住在卡洛家里的学生讲过如何为了避免被卡洛拖入冗长的谈话而从楼上的卧室越窗而逃的故事。卡洛常常会跟在考夫曼后面一起进入浴室，在考夫曼淋浴时，他就放下马桶坐圈，趁着考夫曼忙着把肥皂沫从耳朵里清洗出来时，坐在马桶上愉快地大谈网络及其各种逻辑功能。

然而最重要的是，卡洛成了考夫曼的良师、引路人和朋友，就像对待他的所有学生一样。当他了解到考夫曼来麻省理工学院的目的是要在计算机上做庞大的计算机模拟，从而获取关于网络行为表现的详细统计信息时，他把考夫曼介绍给了明斯基和明斯基的同事西摩·派珀特(Seymour Papert)，他们安排考夫曼在当时被称为“MAC 计划”的高功能计算机上进行他的模拟。“MAC 计划”的意思是机器辅助认知(Machine-Aided Cognition。MAC 是取每个词的头一个字母的缩写)。卡洛又安排了一个在计算机编码方面比他懂得多得多的本科生来帮助考夫曼编写程序。最终他们做了上千个基因的计算机模拟。

同时，卡洛还把考夫曼介绍给了虽小但却十分热情的理论生物学界。正是在卡洛的起居室里，考夫曼见到了神经生理学家杰克·考温。杰克从五十年代末至六十年代初在为卡洛当研究助手，现在刚接受恢复芝加哥大学理论生物学小组的委托。正是在卡洛的办公室里，考夫曼见到了英格兰萨塞克斯大学的布朗·哥德文(Brian Goodwin)，从此和他成了最亲密的朋友之一。“沃伦就像我的高中老师弗莱德·托德一样。他是第一个认真把我当作一个青年科学家，而不是一个学生来对待的人。”考夫曼说。但令人悲伤的是，卡洛没过几年就去世了，那是在1969年。但考夫曼仍然有点把自己看作是他的事业的继承人。“沃伦一下子就把我带入了那个我从此再也没有离开过的世界。”

确实如此。在来麻省理工学院之前考夫曼就决定了，毕业后他要弃医从事科学研究。正是通过卡洛所认识的这群朋友将他真正引入了这个圈子。

他说：“正是由于杰克·考温、布朗·哥德文和其他人，我才于1967年被邀请参加了我生平第一个科学会议。”这是由英国胚胎学家康拉德·沃丁顿(Conrad Waddington)召开的一系列理论生物学会议的第三次会议。“在六十年代中期到后期的那段时间召开的那些会议所做的尝试，正是今天的桑塔费研究所在做的事。”考夫曼说。“真是太好了。从清晨四点起来抽血、化验大便样本——就是我们所谈论的亲手接触现实！——我飞往意大利北部科莫湖畔的色贝劳尼别墅。简直是棒透了。那儿到处是令人惊奇的人。约翰·梅纳德·史密斯(John Maynard Smith)在这里、雷内·托姆(Rene Thorn)刚创立了突变论、芝加哥的狄克·刘文廷(Dick Lewontin)在那儿。狄克·莱文斯(Dick Levins)从芝加哥赶来。刘易斯·沃尔普特(Lewis Wolpert)从伦敦赶来。这些人现在仍然是我的朋友。”

“我在会上做了学术报告，介绍基因网络中的秩序、细胞类型数等等。报告结束后，我们走出来，到俯瞰着湖水的阳台上喝咖啡。杰克·考温走过来问我是否愿意来芝加哥做研究。我几乎不假思索地脱口答道：‘当然愿意！’足有一年半时间我都没顾上问杰克，我的薪水到底是多少。”

生与死

在阿瑟到达桑塔费研究所第一天的午餐后，他和考夫曼沿着坎杨路上砖坯建

成的画廊，向考夫曼喜爱的水洞散步而去。从那以后的两周之内，他们几乎每天都在一起吃午饭，或只是在一起谈话。

他们经常是边散步边聊天。考夫曼比阿瑟还要喜欢外面的新鲜空气。他少年时代参加童子军时在塞拉参加过无数次远足和野外露营活动。上大学时他是个劲头十足的滑雪运动员和登山队员。现在只要有可能他仍然喜欢出门远足。所以考夫曼和阿瑟总是沿着坎杨路边走边聊，或爬上修道院后面那开阔的山岗。他们坐在山顶上，眺望着桑塔费全景和连绵起伏的山脉。

阿瑟开始感觉到考夫曼心里似乎有无法言喻的悲伤。有时，在他诙谐幽默、机智巧妙、充满好奇的谈话中、在他滔滔不绝地讨论他的思想时，他会突然停顿下来，脸上闪过一丝悲伤。在阿瑟和他的妻子苏珊到达桑塔费不久的一个晚上，阿瑟夫妇和考夫曼夫妇一块儿出去吃晚饭。考夫曼告诉了他们一个悲伤的故事：那年10月一个星期六的晚上，他和丽沙回到家，得知他们十三岁的女儿麦瑞特遭到了车祸，肇事者撞了人后开车逃跑了，他们的女儿被送到当地医院，伤势非常严重。夫妇俩和儿子爱森马上跑着去了医院，但到了医院却被告知，麦瑞特十五分钟前已经去世了。

在这件事过去了五年多以后的今天，考夫曼在叙述这件事时已经不至于控制不住自己了。但那天晚上他却怎么也无法自控。麦瑞特是他最心爱的女儿。“这个灾难简直整个地把我打垮了。我悲痛万分，简直无法用言词来形容。我们走上楼去，我女儿破碎的身体躺在一张桌子上，正在冷却。这种悲痛简直无法忍受。那天晚上我们全家三口人拥在一张床上，哭做一团。我女儿的性格易于激动，但她关心他人的天性让我们赞叹不已。我们都认为她是我们四个人中最优秀的。”

考夫曼接着说：“人们都说，时间能治愈创伤。但并不完全是这样的。只不过是悲伤不那么经常爆发了。”

当他们沿路散步，攀爬修道院周围的山坡时，阿瑟情不自禁地被考夫曼关于秩序和自组织的概念所吸引住了。但具有讽刺意味的是，当考夫曼用“秩序”这个词时，明显和阿瑟所用的“杂乱”是同一回事——也就是涌现，即，复杂性系统永不停息地把自己组织成各种形态的趋向。但是当时，考夫曼用了一个恰好相反的词却并不令人感到吃惊。他正好是从一个完全不同的方向得出这个概念的。阿瑟谈论“混乱”，是因为他是从冰封而抽象的经济均衡的世界入手的，在这个

世界里，人们认为市场规律像物理学规律一样可以精确地决定一切。考夫曼谈论“秩序”，是因为他是从杂乱而偶然的达尔文世界入手的。在达尔文的世界里没有任何规律可言，只有意外事件和自然选择。虽然他们是从完全不同的角度出发的，但基本上却达到了一个同样的位置。

考夫曼同样也被阿瑟的报酬递增率概念所吸引、所困惑了。“我很难理解为什么这个概念在经济学上还是新的，而生物学家这么多年来一直在和正反馈打交道。”他花了很长时间才弄明白新古典经济学世界的观点有多么停滞僵化。

但使他更感兴趣的是，阿瑟开始问他另一个正引他入迷的经济学问题：技术变迁。往轻了说，这个问题也早已变成了炙手可热的政治议题。你可以从任何一份你随手翻阅的报纸或杂志上感受到这种潜在的焦虑：美国还有竞争能力吗？我们是怎样丧失了神话般的美国创造力、丧失了老一辈美国佬的技能的？日本人是不是会一个产业一个产业地把我们挤出局？

这都是些切入要害的问题。关键是，正如阿瑟向考夫曼解释的那样，经济学家回答不了这些问题，起码从最基本的理论上，经济学对此无解。技术发展的整个动力就像是一个黑匣子。“直到十五年或二十年之前，大家在意识上仍然认为，技术只是随机地从天而降的，人类是根据天书的蓝图出现了生产钢铁、制造硅片、或产生其它任何这类东西的技术。这些技术由托马斯·爱迪森这样的聪明人发明出来。这些聪明人躺在浴盆里时灵感从天而降，所以就能在上天绘制的蓝图上加上一页。”其实严格地说，技术根本就不属于经济学范畴。技术是外来的，被非经济的进程神奇地分娩出来的。最近，人们做了大量的研究，用模拟来证明技术是内在孕育而生的，这意味着，技术是由经济系统内部产生的。但这通常意味着技术是研究和发展投资的结果，几乎就像一件商品一样。虽然阿瑟认为这个观点包含了一定的真相，但他仍然不认为这是事情的本质。

他对考夫曼说，当你观察与经济学理论背道而驰的经济历史时，你会发现，技术完全不像一件商品，而更像是一个不断演化的生态系统。“特别是，技术发明绝少是在真空中产生。比如说，激光打印机基本上是静电印刷机，就是一个激光装置和计算机线路来告诉静电滚筒在哪儿印刷。所以，只有当有了计算机技术、激光技术和静电复印技术后，激光打印机才有可能被发明出来。但也是只有人们需要精巧、高速的打印机，激光打印机才会被发明出来。”

总之，技术形成了一个高度相互关联的网，或用考夫曼的话来说，是一个网络。更有甚者，这些技术之网具有高度的动力，并且很不稳定。技术似乎可以像生物一样发展演化，就像激光打印机产生了桌面排印系统软件，而桌面排印系统软件又为图形处理程序打开了一个天地。阿瑟说：“技术 A、B 和 C 也许会引发技术 D 的可能性，并依此类推下去。这样就形成了可能性技术之网，多种技术在这张网中相互全面渗透，共同发展，产生出越来越多的技术上的可能性。就这样，经济变得越来越复杂。”

而且，这些技术之网就像生物生态系统一样会经历演化创造的爆发期和大面积的灭绝期。比方说，汽车这样的新技术取代了以马代步的旧技术，而随着以马代步方式的消逝，铁匠铺、快速马车、水槽、马厩、养马人等也消失了，依存于以马代步方式的整个技术子系统突然就崩溃了，就像经济学家约索夫·熊彼得曾经称为“毁灭的飓风”那样。随着汽车的出现，铺设完好的道路、加油站、快餐厅、汽车旅店、交通法院、交通警察和交通指示灯也纷纷出现了。新的商品和新的服务设施开始发展壮大，每一项新内容的插入都是因为以前出现的商品和服务设施为它们开辟了空间。

阿瑟说，确实，这个过程是他所指的报酬递增率的一个绝好的范例：每当一项新技术为其它商品和服务开辟了合适的空间时，进入这个新的空间的人就会在极大的诱惑下尽力帮助这项技术的发展和繁荣。更有甚者，这个进程正是锁定现象背后的主要驱动力：一个特定的技术能够提供给依附于它的其它技术的新空间越大，就越难以改变这种技术发展的方向，除非有一种较之强得多的技术出现。

阿瑟解释说，这个技术之网的概念与他对新经济学的想象非常接近。但问题是，他发展的数学方法只适宜于一次对一项技术的发展进行观察。他真正需要的是一个类似网络性的模拟，就像考夫曼开发的那种一样。所以他问考夫曼：“你能做一种模拟，让刚被发明的技术就像打开的开关一样，也许……？”

考夫曼目瞪口呆地听他说完这一切。他能吗？阿瑟刚才用完全不同的语言所描述的一切正是考夫曼这十五年来一直在研究的问题。

默想了几分钟之后，考夫曼就开始向阿瑟解释为什么技术变化的过程就像生命的起源一样。

考夫曼最初产生这个想法是在 1969 年，在他到达芝加哥的理论生物学研究

小组的时候。

他说，在读过医学院之后，置身芝加哥有如置身于天堂。现在回想起来，芝加哥其实就是他经历过的三个最令他激动的知识环境中的第二个。“这是一个非凡的地方，拥有才能非凡的人。”他说。“在芝加哥我工作的那个部门所集中的人物之优秀，在全美国都是出类拔萃的，他们就像我在意大利碰到的那群朋友一样。”杰克·考温正在进行皮层组织方面突破性的研究工作。他用简单的方程式来描述大脑中的刺激和抑制波是怎样越过神经细胞的双重尺度薄片的。约翰·梅纳德·史密斯也正在从事进化动力学方面的突破性研究。他利用被称之为博弈理论的数学技术来澄清物种之间竞争与合作的本质。利用萨塞克斯大学的年假来这儿从事研究的梅纳德在网络的数学分析上给了考夫曼及时的帮助。“约翰教我算数，他是这么说的。”考夫曼说。“有一天我治愈了他的肺炎。”

生活在同事和至交中间的考夫曼很快就发现，在网络的统计特征的研究上他并非是孤军奋战。比如，1952年，英格兰神经生理学家罗斯·阿什贝(Ross Ashby)在他出版的《脑之设计》(Design for a Brain)这本书中就思考了同样的问题。考夫曼说：“他探索的是复杂网络的普遍性，提出了一个与我的问题相似的问题，但我却对此一无所知。当我一发现这件事就立即与他取得了联系。”

同时，考夫曼发现自己在研究基因网络的同时，还对物理学和应用数学做出了一些最前沿的拓展。他的基因调节网络动力结果变成了被物理学家们称之为“非线性动力”的一个特例。从非线性这个角度来看，很容易就能明白为什么稀疏连接的网络能够这么容易就自组成稳定的循环：从数学角度来说，它们的行为就相当于落在河谷周围山坡上的所有雨水都会流入河谷最底部的湖里。在所有可能的网络行为空间里，稳定的循环就像盆一样，或者就像物理学家所说的“吸引子”。

经过对基因网络六年的艰苦研究，考夫曼满意地感到他终于能如此完美地了解其中的奥秘。但他仍然禁不住地感到，这里面还缺了点什么。基因调节网络的自组之说当然非常好，但是在分子这个层面，基因活动依存于核糖核酸(RNA)和脱氧核糖核酸(DNA)这些复杂、精致的分子之山。而RNA和DNA又是从何而来的呢？

生命究竟是怎样起源的呢？

根据生物学教科书上的正统理论,生命的起源相当直接。DNA、RNA、蛋白质、多糖类和形成生命的其他分子于几十亿年前在某个温暖的小池塘中形成。当时,像氨基酸这类简单的分子建设砖块在初始的气候环境中要经过不断积聚。事实上,在1953年,诺贝尔化学奖得主哈罗德·尤瑞(Harold Urey)和他的研究生史丹勒·米勒(Stanley Miller)用实验证明,最初由甲烷、氨和其它类似的东西形成的氛围可以自发地产生这样的建设砖块。所需要的只是偶然的闪电来提供产生化学反应的能量。这个理论又说,随着时间的推移,这些简单的混合物就开始聚集于池塘和湖水,经过更进一步的化学反应,变得越来越复杂,最终就会产生一群分子,包括DNA双螺旋结构和(或)它的单结构表兄弟RNA。它们都具有自我繁殖的能力,而当自我繁殖一经产生,其余的一切就都是自然选择的结果了。常规生物学理论大致上就是这样说的。

但考夫曼不买这个帐。就先拿一件事来说,大多数生物分子的结构都非常庞大。比如说,合成一个单个的蛋白分子要精确有序地聚集几百个氨基酸建设砖块。这在一个具备所有最先进的生化技术的现代实验室里都非常难以实现。蛋白分子又怎么能够在池塘中自我形成呢?许多人都试图测算出发生这种情况的偶然性会有多大,然而他们得到的结论基本上都差不多:如果生物分子的形成真是随机的,那么你得等上比宇宙形成还要长得多的时间才可能等到一个有用的蛋白质分子的形成,就更别设想需要多长的时间才能等到无数蛋白质、糖类、脂肪和氨基酸的形成,从而组合成一个完全可以起作用的细胞了。即使你假设在人的观察力所能及的宇宙中几百万的星系中以兆计的星球中,都有像地球这样拥有温暖的海洋和气候的行星存在,在任何这些行星上出现生命的可能性仍然是微乎其微的。如果生命的起源真的是一个随机的结果,那生命的起源可就真是个奇迹了。

更具体些说,考夫曼不能苟同标准的生物学理论是因为,这个理论将生命的起源与DNA的出现等同了起来。对考夫曼来说,将生命的起源基于如此复杂的东西之上显然是不合理的。DNA双螺旋结构能够自我复制,当然,但关键是,这种自我复制的能力在于它能够展开自己的双螺旋结构,并进行自我拷贝。更进一步的是,在现在的细胞中,这个过程还有赖于一群扮演各种协助角色的特殊蛋白质分子。所有这一切怎么会发生在一个池塘里呢?考夫曼说:“我产生了一种就像当年非要一探基因调节网络究竟是否存在秩序那样的冲动。在DNA中存在某种非

常奇妙的东西，生命的起源正是有赖于这样一种特殊的東西，我简直不希望这是真的。我这样对自己说：‘如果上帝赋予了氮另外一种化合价呢？（在 DNA 分子中充满了氮原子）如果是这样的话，生命有可能出现吗？’对我来说，生命的起源竟然处在这样一种微妙的平衡点上，这真是一个令人震惊的结论。”

但考夫曼又想，谁说生命的至关重要的因素就是 DNA 呢？从这点来说，谁说生命的起源是一个随机的结果了？也许还有另外的产生自我复制系统的途径，一种能够允许有生命的系统依靠自己的努力，从简单的化合反应逐步发展成为生命的方式。

好吧，现在来想象一下初始原汤的情形吧，里面有那些微小的氨基酸、糖类等物质。很明显，你不能指望它们会自己融合在一起，形成一个细胞。但你起码可以指望它们会产生一些随机的相互作用，事实上，很难想象有什么事情可以阻止它们这样相互作用。虽然随机作用不会产生任何奇妙的东西，但它们能够产生较大数量的具有短链和分叉的小分子。

目前这个事实虽然并不能增大生命起源的可能性，但考夫曼想，假设，仅仅是假设，有一些飘浮在初始原汤中的小分子能够起到“接触剂”的作用，就像是极其微小的媒人。化学家常常能够发现这样的物质：一个接触剂分子在四处周游时粘上了其它两个分子，把它们撮合到一起，这样就使它们之间的相互作用和相互融合发展得更快一些。然后，接触剂又放开了这对“新婚夫妻”，转而把另外两个分子撮合到了一起，就这样一直发展下去。化学家也非常熟悉很多像刀斧手一样的接触剂分子，它们侧身挨上一个又一个的分子，然后把它们切割开。接触剂的这两种作用使它们成为现代化学工业的支柱。比如像汽油、塑料、染料、药品等，没有接触剂，所有这些产品几乎都不可能出现。

考夫曼想，好吧，现在来想象一下在初始原汤中有一些 A 分子忙着催化另一个 B 分子的形成。既然第一个分子是随机形成的，它的接触与催化功能也许并不十分有效，然而它并不一定要十分高效。但即使是一个效能微弱的接触剂都能使 B 分子的形成要远比另外途径快得多。

考夫曼想，现在，让我们假设分子 B 本身具有微弱的接触催化功能，这样它就能催化一些分子 C 的产生。假设分子 C 也可以起到接触催化作用，并依此类推下去。他推测，如果初始原汤的池塘够大的话，如果池塘里的各种分子多得足够

开始发生相互作用的话，那么，在事情发展的某个阶段，也许完全可能产生出已经完成了整个圆圈，又开始去接触催化分子 A 的分子 Z。但这样就有了更多的分子 A，这意味着有了更多的接触催化剂，可供加强分子 B 的形成，而更多的分子 B 反过来又可供加强分子 C 的形成，这样没完没了地进行下去。

换句话说，考夫曼认识到，如果初始原汤中的条件成熟的话，你就完全不用等待随机作用的结果了。初始原汤中的混合物会形成一个连贯的、自我强化的相互作用网。更进一步的是，这个网中的每一个分子能够接触和催化这个网中其他分子的形成，这样，较之网外的分子，网内所有的分子都会稳定地得到越来越大的发展。总之，从整体来看，这个网能够催化自我的形成。它会成为一个“自动催化组”。

当考夫曼认识到这一切时产生了一种敬畏感。在这里，秩序再一次出现了，这是自由存在的秩序。秩序自然地产生于物理学和化学的法则之中。秩序从分子的混沌之中自发地浮现出来，宣布自己是一个发展的系统。这个想法美妙得不可思议。

但这就是生命吗？不。考夫曼不得不承认，这不是我们今天所了解的生命。一个自动催化组没有 DNA、没有基因码、也没有细胞膜。事实上，除了一群飘浮在原始池塘中的分子之外，它并非真正独立地存在。如果当时地球大气圈之外有一个达尔文凑巧经过，他（或它）都很难察觉到有任何不同寻常的事情。任何一个特定的参与这个自动催化组的分子看上去与其它分子都没有什么不同。我们无法在任何一个自动催化组中发现事情的本质，事情的本质存在于这个自动催化组的整体动力上：它的集体行为。

然而，考夫曼想，从更深一层的意义上来说，自动催化组也许是有生命的，它能够呈现出某种非常明显的生命特征。比如说，它能够发展。而且从原则上说，没有理由认为这样的自动催化组为什么不能是开放性的，能够随着时间的推移产生出越来越多的、变得日趋复杂的分子。这样的自动催化组甚至具有一种新陈代谢的功能：分子网络能够稳定地把飘浮在整个初始原汤中的氨基酸和其它形式的分子作为“食品”分子来供应，把它们粘合在一起，将这个自动催化组变成更加复杂的混合体。

自动催化组甚至能够显示出原始的自我繁殖方式：如果一个自动催化组凑巧

从一个小池塘溅洒到一个相邻的池塘，比方说是在一次洪水泛滥中，那么，溅入相邻池塘中的自动催化组会立即开始在新的环境中发展。当然，如果这个池塘内早有另外的自动催化组存在了，那么这两组就会为资源而展开竞争。考夫曼意识到，这样就直接给自然选择敞开了门户，由自然选择来扬弃和优化这些自动催化组。我们很容易想象出这样一个自然选择的过程。对环境变化更能适应，或拥有更有效的接触催化效果的，更善于产生相互作用的，或拥有更复杂、更精致分子的自动催化组通过自然选择被保留了下来。最后，事实上你可以想象得出来，扬弃的过程产生了 DNA 和其他所有的物质。关键在于先要形成一个能够存活和自我繁殖的实体。在这之后，进化就能够在相对较短的时间内完成自己的工作。

好吧，他承认这是假设，是在许多如果上再加上许多如果。但对考夫曼来说，这个自动催化组的故事与他所听到的最善辞令的生命起源的解释是背道而驰的。如果他的假设是真的话，那就意味着，生命的起源并不需要等待某种荒唐而不可能发生的事件来产生一组极其复杂的分子。这意味着，生命确实可能依靠自己的努力从非常简单的分子发育进入存在。这也意味着，生命并不是一个随机的偶然事件，而是大自然自我组织的、持续强制力的某种表现。

考夫曼对这一研究简直就鬼迷心窍了。他立即投入了计算和用计算机对随机网络进行模拟，重复他在柏克莱所做的实验：他希望了解自动催化组的自然规律。好吧，就算你并不知道当时究竟有什么样的混合物和什么样的化合反应，但你起码可以想象它们的可能性。自动催化组的形成完全是一个没有可能的事吗？抑或它的形成几乎是不可避免的？让我们来看看数据吧。假设有少数几种“食品”分子，比如像氨基酸这类东西，假设在初始原汤中，这些分子开始相互聚合，形成聚合物之链。用这种方式能够聚合多少种聚合物？这些聚合物之间得发生多少相互作用才能形成一个相互作用的大网？如果形成了这样一个相互作用的大网，那么，在自闭后形成一个自动催化组的可能性有多大？

“当我整个想了一遍后，我发现事情对我来说已经变得显而易见了，相互作用的次数会大于聚合物的数额。这样，在达到每一个聚合物都能够发生一个催化反应这个固定的可能性时，就会达到某种相互自动催化的复杂阶段。换句话说，这就像他的基因网络：如果原始初汤超越了复杂的界线，它就会经历这种滑稽的阶段变化，即相变。那么自动催化组的出现就确实是不可避免的了。在内容足够

丰富的初始原汤中，自动催化组只能是这样形成，生命从初始原汤之中自发地粘合催化而出。”

考夫曼觉得，这个故事实在是太美了，它不可能不是真的。他说：“如今我仍然像刚得出结论时那样坚信故事的这个剧情。我坚信生命就是这样开始的。”

阿瑟也很赞同考夫曼的观点。他认为这是一个伟大的发现，不仅仅因为这是关于生命起源的一个绝妙的解释，而且自动催化组和经济学如此相似，使他简直无法忽略而过。那些天他和考夫曼一边在山间散着步，或弓身趴在餐桌上吃午餐，一边反复讨论这个观点。

他们都认为，最明显的是，自动催化组就是一个分子转换网，正如经济是商品和服务的转换网一样。从真正的意义上来说，自动催化组其实就像一种极其微小的经济体系，它吸取原料（原始的“食物”分子），然后把原料变成有用的产品（也就是自动催化组里更多的分子）。

更有甚者，自动催化组能够依靠自己的努力来进化，就像经济那样，能够随着时间的推移越发展越复杂。这正是最令考夫曼着迷之处。如果发明是老技术的新结合，那么，随着我们有越来越多的可供利用的老技术，可能性发明的数额就会急剧增加。他认为，事实上，事物一旦超越了某种复杂性的临界点，就会出现一种类似他在自动催化组中发现的相变。而在复杂性临界点之下，一些国家仅仅依存于少数几种工业生产上，这些国家的经济也趋于脆弱和停滞。在这种情况下，无论你向这个国家注入多少投资都没有用。“如果你一味地只是出产香蕉，那么，除了出产更多的香蕉之外，你就别无它望了。”但如果一个国家开始努力朝多样化方向发展，将经济的复杂程度增至超越临界点，那这个国家就会进入一个发展和发明的爆发性阶段——就是一些经济学家称之为的“经济起飞”阶段。

考夫曼告诉阿瑟，相变的存在也有助于解释为什么贸易对经济的繁荣如此重要。假设有两个不同的国家，每一个国家的发展都介于临界点之下，这两个国家的经济就会毫无起色。但假设这两个国家开始做贸易，它们各自的经济就会进入相互依存阶段，形成了一个较为复杂的更大的经济体系。“我相信这两国之间的贸易往来能够形成联合的经济体系，从而超越临界点，使经济爆发般地向外扩展。”

最后一点，一个自动催化组完全能够像经济体系一样经历进化过程中的繁荣

期和衰落期。将一种新的分子注入到初始原汤中，往往能够彻底改变旧有的自动催化组的结构，这和以马代步的方式被汽车的出现所代替时，经济体系发生了改变是一个道理。这正是自动催化论真正吸引阿瑟之处。就像他初次读到分子生物学时那样，自动催化论中的这个相同的特点使他心驰神往：骚乱和变化、以及一些严重的后果都起源于看似微不足道的小事。而在这些现象之后藏着意义深远的自然法则。

考夫曼和阿瑟没完没了地讨论这些想法，探索其间的联系，感到非常愉快。他们的谈话就像一年级大学生随时随地地自由讨论。特别是考夫曼尤为激动。他觉得他们正在探索某种真正全新的东西。很显然，网络分析不会助使任何人精确地预测到下个星期会出现什么样的新技术。但它也许能助使经济学家获得预测这一进程的统计上的和结构上的方法。比如说，当你介绍一种新产品，它会对经济引起多大的震动？它会带动多少种别的商品和服务的出现？它会导致多少老行业的消亡？你如何认识一种商品已经成为一个经济体系的中心，而不仅仅是又一个呼啦圈？

考夫曼进一步认识到，这些思想的效用最终可能远远超越经济学领域。“我觉得这些模型同时也可以容纳偶发性事件和法则。关键是，相变也许是有规律的，而其中的特殊细节却无规律可循。也许我们掌握了历史发展进程是如何开始的这样的模型，可以解释工业革命或作为文化转变的文艺复兴这样的历史性事件的起源，解释为什么一个封闭孤立的社会或社会精神在某种新思想注入之后就无法再保持封闭孤立。”你也可以对寒武纪大爆炸问同样的问题：五亿七千万年前，这个充满了海藻和池塘浮渣的世界突然爆发而成为充满了大量复杂的、多分子生物体的世界。“为什么突然出现多样生物？”考夫曼问。“也许是因为世界超越了多样化的临界点而引起了爆发，也许是因为世界从海藻丛发展出了更有营养、更复杂的物质，这就导致了一个转换过程带动又一个转换过程的转换爆发期。这和经济现象是一样的。”

当然，甚至考夫曼也不得不承认，所有这些想法不过是希望而已。但另一方面，他又告诉阿瑟，这一切也许是非常可能的。他从 1982 年就开始做基础性研究，那是在他停顿了十多年之后重新开始对自动催化论的研究。

考夫曼记得，他是从 1972 年的某一天开始停止了对自动催化论的研究的。

当时芝加哥的一位化学家斯图尔特·莱斯 (Stuart Rice) 来访他所在的理论生物学小组。莱斯在理论化学方面享有盛誉，考夫曼很希望给他留下深刻的印象。

“他走进我的办公室，问我正在从事什么研究，我就告诉他我正在研究自动催化，他就说：‘你做这个研究干什么？’我不知道他为什么这么说。我猜他认为这工作没有任何意义。但当时我想：‘上帝，斯图尔特当然知道他在说什么。我不应该再做这个了。’所以 1971 年，我把已经做成的研究结果写了出来，发表在控制论学会期刊上，然后就把这项研究搁置一旁，全忘了这件事。”

考夫曼的这种反应并不完全因为缺乏安全感。其实当时他的自动催化模型正好也走入了死胡同。无论他为研究生命的起源做多少计算和计算机模拟，它们也仅仅是计算和计算机模拟而已。要取得真正的进展，他就必须在米勒和尤雷的实验基础上继续有所发展，就必须在实验室里证明，初始原汤中确实可以产生自动催化组。但考夫曼并不知道怎样才能做到这一步。就算他有耐心，也有在实验室进行化学试验的技术，他也不得不在各种的气温与气压下观察数百万计各种组合的混合物的形成。这将是一件他穷尽一生的时间都不会有结果的事情。

似乎没有人能想出什么好办法来。在自动催化研究领域考夫曼并不是在孤军奋战。几年前，柏克莱诺贝尔奖得主麦尔文·卡尔文 (Melvin Calvin) 在他 1969 年出版的《化学演变》这本书中描述了他所探测的有关生命起源的几个不同的自动催化情形。与此同时，德国的奥托·罗斯勒 (Otto Roseeler)、曼弗莱德·艾根 (Manfred Eigen) 也在独立地进行自动催化方面的探索。艾根甚至已经能够用 RNA 分子在实验室证明一个自动催化循环的形式。但还没有人能够证明自动催化组是如何在米勒—尤雷的初始原汤中从简单的分子中浮现出来的。这个悬而未决的学说似乎没有取得任何进展。

但是，尽管考夫曼对莱斯的评论的反应并不完全因为缺乏安全感，但很大程度上却确实是这样的。他有一种在这个新的领域证明自己的能力的迫切需要，但他发现，理论学家在生物学家眼里的声誉很低。

“在生物学中，从事数学计算的人处于底层中的最低层。”他说。这与物理学和经济学的情况正好相反。在物理学和经济学中，理论家是王者。而在生物学领域，特别是在分子生物学和发育生物学领域，试验工具是全新的，为了研究生命系统的细节需要采集大量的数据资料。所有的荣誉和光荣都归于实验室。“分

子生物学家都坚信，所有的答案都会随着对特殊分子的了解而获得。”考夫曼说。“大家都极不愿意去研究生物系统是如何运作的。”比如，基因网络研究中的吸引子的概念对他们来说是很浮夸的。

在神经科学和进化生物学领域，排斥理论的气氛要略微淡一些。但即使在这些领域，考夫曼的网络概念也被认为有点儿怪诞。他谈论庞大网络中的秩序和统计行为，却无法用这个分子或那个分子来举例说明。许多研究人员很难理解他在说些什么。“当初有人对我的基因网络的研究工作有所反应，沃丁顿就赞赏我的想法，还有其他许多人也都赞赏我的想法。这就是我得到了我的第一份工作的原因。我为此感到非常高兴，非常骄傲。但在此之后就沉寂了下来，从七十年代初期开始走下坡路。人们不再特别关心这件事了。”

考夫曼把大量时间投入到学习如何做生物实验之上了。他感到一种与他当初从哲学转向医学院时同样的冲动：他不信任自己的辩才和理论倾向。“部分原因在于我觉得自己需要做脚踏实地的工作。但另一部分的原因是我真的想知道世界究竟是如何运作的。”

考夫曼特意把研究重点放在小小的果蝇身上。基因学家在二十世纪初已对果蝇做了大量的研究。果蝇现在仍然是生物学家从事发展进程方面研究时最喜欢的实验对象。果蝇有许多有利于做实验的特点，它会出现古怪的变化，新孵出的果蝇的腿会长在触须应该长的地方，或它的生殖器会长在应该是它的头部所在的位置，等等。果蝇的这些变化给了考夫曼研究遗传形式的充分余地，他可以由此思考发育中的胚胎是如何进行自组织的。

1973 年，他对果蝇的研究使他来到了华盛顿郊外的美国健康研究所。那个研究所给他的两年任期使他得以逃脱去越南战场服兵役。[他在华盛顿的时候已经设法推延了四年服兵役。根据众所周知的“贝雷计划”(Berry Plan)，物理学家在做医学实验期间可以推延服现役。] 1975 年，他对果蝇的研究使他获得了宾夕法尼亚大学终身教授的职位。他开玩笑说：“我选择宾州大学，是因为那附近有非常好的印度餐厅。”但认真地说，他选择宾州，是因为他觉得无法再回到芝加哥大学地区的海德公园街区，把家安在那里，尽管当时加州大学也允诺了他同样的职位。他说：“那儿的犯罪率太高，种族关系太紧张了。你会感到你无力对此做出任何改善。”

考夫曼当然不会后悔他耗费在果蝇上的时间。他发表的关于果蝇发育的论述就像他对网络形式的论述那样充满激情。但他同时也记得 1982 年那生动的一幕。

“我在塞拉利昂山上，忽然意识到，我已经有好几年对果蝇提不出什么新的见解了。我忙忙碌碌地做着核移植实验、无性系实验和其它实验，但我其实并没有产生任何新的想法。我感到一种全面的困顿。”

不知为什么，他当时立刻就明白，是回到他起初关于基因网络和自动催化研究去的时候了。见鬼，如果没有其它内容的话，他觉得他已经善尽其职了。“我已经有权去思考我想去思考的问题了。在读完医学院、做过医生、接生过六十个婴儿、为新生儿吸抽过骨髓、照料过贲门抑制等一个年轻的医生应该做的一切事情以后，在主持过实验室，学会了如何使用闪烁计数器、如何拿果蝇做遗传实验等其它一切事情以后，尽管生物学界依然蔑视理论，但我已经有权做任何我想做的事情了。我已经满足我在牛津读书时的渴望，已经不怕自己会才思缥缈了。我现在深信自己是个优秀的理论家。这不一定是说，我总是对的。但我信任自己。”

特别是他认识到，现在是回到自动催化组的研究上去的时候了，而且这次要把它做对。他说，在 1971 年，他真正拥有的只不过是简单的计算机模拟。

“我非常清楚地知道，随着方案中蛋白质数额的增加，它们之间相互反应的次数增加得会更快。所以当这个系统变得足够复杂时，就会产生自动催化现象。但在分析工作中我并没有得到多少结果。”

所以他重又开始进行计算，就像以往一样，一路研究下来，总是以发明数学公式而告终，“1983 年，我耗费了整个秋季，从十月份一直到圣诞节，一直在证明各种数学定律。”他说。聚合物的数量、相互作用的次数、聚合物的接触催化反应的次数、这个巨大的反应图示中的相变次数，从中探测究竟在什么样的条件下自动催化才会发生。他怎么能证明会发生自动催化现象呢？他记得整个结果匆匆忙忙地形成于 11 月份，在他从印度开会回来的二十四小时的飞机航班上，“我返回到费拉德尔菲亚时简直累垮了。”他说。圣诞节那一天他匆匆忙忙地草涂下这个定律，到了 1984 年元旦前，他获得了结论：他在 1971 年只能推测，不能证明的滑稽的相变得到了确凿的证明，这个定律表明，如果化学反应过于简单，相互作用的复杂程度过低的话，相变的现象就不会发生，这个系统就会是一个低于临界点的系统。但如果相互作用的复杂性达到了一定的程度，考夫曼的数学定律

就可以精确地界定这意味着什么——这个系统就会是超越临界点的系统，自动催化现象就会变得不可避免，秩序就会自由存在于其中。

真是太妙了。很显然，他接下来要做的事，就是要用更加先进的计算机模拟技术来证明这些理论设想。他说：“我已经有了关于超越临界点和在临界点之下的两种系统的设想，我急切地希望看到计算机是否能模拟这两种系统的表现。”但同样重要的是要将象征真正化学和热动力学的某种情形也编进模拟模式里去。一个更现实的模式至少可以在如何在实验室创造一个自动催化组这一方面给实验者提供指导。

考夫曼知道有两个人可以帮助他，其中的一个他已经见到过了。在巴伐利亚开会期间，他结识了罗萨拉莫斯物理学家多伊恩·法默（Doyme Farmer）。法默的想象力就和考夫曼一样丰富，一样充满活力，而且也像考夫曼一样着迷于自组织的概念。他们俩非常愉快地在阿尔卑斯山滑了一整天的雪，一直在讨论网络和自组织。他们相处得好极了，法默甚至安排考夫曼作为顾问和讲师来罗萨拉莫斯做阶段性学术访问。不久，法默又介绍考夫曼认识了伊利诺斯大学年轻的计算机专家诺曼·派卡德。

法默和派卡德自七十年代末在桑塔·克鲁兹读加州大学物理系研究生成为同学开始就一直合作默契。在加州大学读书时他们俩就都是自喻的“动力系统团体”的成员。这个团体的成员是一小群致力于那时的前沿领域——非线性动力学和混沌理论研究的研究生。这个团体的成员对非线性动力学和混沌理论作出了富有创意的贡献。这使他们的动力系统团体在詹姆士·格莱克（James Gleick）的著作《混沌》（Chaos）中占有一个篇章。《混沌》一书发表于1987年秋，差不多就在阿瑟·考夫曼和其他人为参加经济学会议而聚集桑塔费的那段时间。

当考夫曼八十年代初第一次见到法默和派卡德时，他们俩已经开始厌倦混沌理论了。

就像法默所说：“又怎么样呢？混沌的基本理论已经血肉丰满了。”他向往走在前沿的激情。在科学的前沿，事情还没有能够被完全理解。对派卡德而言，他希望自己搅到真正的复杂之中去。混沌动力学是复杂现象，当然，想想一片树叶在徐徐微风中随意摇曳吧。但这种复杂太简单化了。在树叶摇曳的情形中，只存在来自于风的一组动力。这组动力可以被一组数学等式描述出来。而这个系统只

是盲目地、永远地遵循这些方程式运作。没有任何变化，也没有任何改进。“我希望超越这个，深入到生物学和心智这类更复杂、更丰富的形式之中。”派卡德说。他和法默一直在寻找切入要害的研究课题。所以当考夫曼建议，他们可以在计算机模拟自动催化系统方面相互合作时，他们便一拍即合，立即决定做这个尝试。

1985 年，当考夫曼从巴黎和耶路撒冷体完年假回来后，他们就着手这项研究。“我们之间开始了密切的合作。”考夫曼说。对化学反应的随机网络的讨论是一回事，这样的网络可以用纯数学语言来描述。但用相对真实的化学来模拟这些反应又是另一回事了，这时事情很快就变得复杂化了。

考夫曼、法默和派卡德最后得出的是一个聚合物化学的简化模型。基本的化学建设砖块，也就是根据米勒-尤瑞过程原理在初始原汤中可能形成的氨基酸和其他这类简单的混合物，在计算机模拟中用 a、b、c 这样的象征性符号来表达。这些建设砖块能够相互连接成链，形成更大的分子，比如像 accddbacd。这些更大的分子反过来又会发生两种化学反应。它们可能分裂开来：

$accddbacd \rightarrow accd + dbacd$ 或者它们也可以反过来，最终合为一体： $bbacd + cccba \rightarrow bbcadcccba$

每一组反应都有一个相关的数——化学家将其称为率常数——这个数能够决定在没有接触剂的情况下发生化学反应的频率。

当然，这个实验的全部意义在于观察在有接触剂的情况下会发生什么情况。所以考夫曼、法默和派卡德必须找到能够分辨哪一个分子触发哪一种化学反应的方法。他们尝试了好几种方法，其中考夫曼提议采取的一种与其他方法的效果类似的方法，即只是选取一系列的分子，比如像 abccd，然后任意指定每一个分子的化学反应，比如 $baba + ccda \rightarrow babaccda$ 。

在进行模拟时，一旦所有的反应速率和催化强度被界定清楚后，考夫曼、法默和派卡德就让计算机开始丰富他们模拟的原始池塘，源源不断地提供像 a、b、aa 这一类的分子“食物”。然后他们就坐下来，看看他们的模拟会产生什么样的结果。

在很长时间内，他们的模拟产生不出多少结果。这很令他们沮丧，但却并不令人吃惊。反应速率、催化强度和食物供给率，所有这些参数都可能有误。要做

的是改变这些参数，然后再看看什么参数会起作用，什么参数不会起作用。他们在这样做时偶然发现，当他们把参数修改到有利的范围之内时，模拟的自动催化组就产生了。更进一步的是，自动催化组形成的条件，似乎正像考夫曼在他的关于抽象的网络定理中所预测的那样。

1986 年，考夫曼和他的合作者发表了他们的研究结果。虽然这时法默吸收了一名研究生，理查德·巴格雷 (Richard Bayley)，来拓展和大幅度加快这个模拟实验，但法默和派卡德这时早已兴趣别移了。考夫曼自己也开始进一步思考进化中自组织情形发生的其他方式。但在这次计算机模拟实验之后，他比以往更深刻地感到，他已经真正面对造物主的奥秘了。

他记得有一次独自登上泰后湖畔的塞拉斯山，到他最爱去的豪塞泰尔瀑布。他回忆说，那是一个怡人的夏日。他坐在瀑布旁的一块石头上，思考着自动催化的问题及其意义。“我突然明白了，上帝已经部分地向我展示了宇宙运作的奥秘。”当然，他指的不是通常人们认为的那个上帝，考夫曼从来没有相信过有上帝的存在。“但我有了一种理解宇宙的神圣感觉，一个展现在我面前的宇宙，一个我身为其中一部分的宇宙。事实上，这是与虚荣自负正好相反的一种感觉。我感觉到上帝正在向愿意倾听的人展示世界运行的奥秘。”

他说：“这是一个美好的时刻，一个我离宗教体验最接近的时刻。”

桑塔费

经济学研讨会召开的日期日趋逼近，阿瑟开始把越来越多的时间花费在完善他的发言上（会议安排阿瑟为第一天的第一个发言人），考夫曼则在自家附近尘土飞扬的道路上独自长时间地散步。他说：“我记得我来来回回地踱步，一边尽力归纳我演讲的中心概念的构架。”他们约定，由阿瑟来谈报酬递增率，而考夫曼早已就他所要谈的网络模拟做出了发言提纲。另外，对他俩共同的关于技术发展和自动催化的想法，还会增加一次讨论。把经济看作自动催化组这个想法实在是妙不可言，不可能被轻易放过。考夫曼急于让大家共同分享这一点。

对考夫曼来说，他在桑塔费的家就像豪塞泰尔瀑布一样是他对这类问题做沉思默想的好地方。他在桑塔费的家是一个宽大而不规则的建筑物，巨大的落地窗

从地板一直顶到天花板。这座房屋坐落在桑塔费西北部沙漠地区的一条尘土飞扬的道路上，从那里可以眺望到里奥格兰德河谷对面的杰梅兹山脉的壮丽景观。这景观有某种永恒的、几乎精神性的意味。他买下这处房产还不到一年，主要是为了能够在桑塔费研究所呆更长的时间。

桑塔费研究所无疑是他经历过的第三个最优秀的学术环境。他说：“就像牛津和芝加哥那样令我激动和神往。但把桑塔费和牛津、芝加哥大学相比，桑塔费就像小土豆一样渺小。这儿简直是个令人震惊不已的地方。”他是1985年和法默一起进行自动催化计算机模拟时听说桑塔费研究所的。但直到1986年8月，当他参加研究所的一次研讨会时，才有机会亲历桑塔费。那次“复杂的适应性系统”研讨会是由杰克·考温和斯坦福大学的进化生物学家马克·菲尔德曼组织召开的。考夫曼就像阿瑟一样，一下子就喜欢上了这个地方，他几乎不假思索地认定，这儿正是他向往的地方。“这儿一直充满了追求真理的热情、知识的激情、以及混乱而严肃和欢乐，还有‘感谢上帝，我不是孤独的’这样的感觉。”

他的夫人和两个孩子，爱森和麦瑞德也为能够在桑塔费消磨时光而欣喜若狂。当考夫曼带他们来看这个地区时，他们立刻喜欢上了这个地方。考夫曼还记得他们去桑格里德克里斯托山去采蘑菇的那天。他夫人是个画家，而世界上没有任何地方拥有像新墨西哥这样明媚的阳光了。所以1986年9月12日，考夫曼选购了他们在桑塔费的家，计划每年来新墨西哥居住一个月左右的时间。

但就在1986年10月25日，他们在桑塔费购买房子还不到两个星期，麦瑞特就遇车祸身亡。女儿死后，桑塔费的家对考夫曼来说突然比假期别墅具有了更大的意义。从那时候开始，桑塔费的家就成了他的避难所。他的家人基本上就算搬到这儿来常住了。而考夫曼自己就像在往来于两个家之间的流放者，使他维系于宾夕法尼亚大学的仅仅是他的学生、年薪和终身教职。他所在系的主任知道考夫曼这样做是因为需要感情上的自我拯救，所以做出了能够让考夫曼每年在桑塔费度过一半时间的安排。考夫曼说：“宾州大学已是非常照顾我了。不是很多地方能够允许你这么做的。”

考夫曼说，对在桑塔费第二年的情形他已记不太清楚了。1987年5月，他得知他获得了麦克阿瑟基金会无条件的“天才”研究基金，他为此而非常欣喜，但却又感觉不到快乐。“最倒霉的事情和最幸运的事情都发生在我身上了。”他躲

进了自己的研究工作中。他说：“作为一个科学家，这是我能够进入并能够恢复正常感觉的地方。”他会经常沿着尘土飞扬的道路漫步，凝视着山脉，探寻着造物主的奥秘。

第四章 “你们真的相信这套？”

布赖恩·阿瑟通常对做学术报告并不感到紧张。但当时在桑塔费研究所召开的经济学会议却非同寻常。

他在到桑塔费之前就感到某件重大的事情正在进行之中。“当那天阿罗在校园截住我时，我听说约翰·里德、菲尔·安德森和马瑞·盖尔曼这些人物是这次经济学会议的幕后策划人，后来桑塔费研究所所长又给我打了电话，事情已经很清楚：这次会议被桑塔费研究所的人认为是一个里程碑。”阿罗和安德森作为会议的组织者，将会期定为整整十天，这对学术会议的标准而言，是相当长的会期了。乔治·考温准备在会议的最后一天召开新闻发布会，那一天约翰·里德也将亲自出席。（确实，安德森准备参加会议就是一个见证。七个月之前，即1987年2月，世界上所有的凝聚态物理学家都为发现外表粗糙，但在达到相对温和的液化氮沸点，华氏零下321度时能够高度导电的陶瓷新材料感到惊诧不已。安德森就像其他很多理论物理学家一样，正在没日没夜地想研究这些“高温”超导是如何达到这样的功效的。）

当阿瑟在8月底，即经济学会议召开的两周前到达研究所，并看到了会议出席者的名册时，他就明白了，展示自己研究成果的真正的机会来临了。当然，他已久仰阿罗和安德森的大名了。他还认识他在斯坦福大学的同事汤姆·萨金特（Tom Sargent）。汤姆做过关于“合理的”私营企业经济决定与政府一手导致的经济环境之间的密切关系的研究，因而常被人们作为诺贝尔奖的竞争者而提及。参加这次会议的还有哈佛大学名誉教授、曾担任过世界银行研究中心主任的霍利斯·切纳利（Hollis Chenery）、哈佛大学的神童拉里·萨默斯（Larry Summers）、来自芝加哥大学，率先将混沌理论用于经济学的乔斯·桑克曼（Jose Scheinkman）、以及比利时物理学家戴维·鲁勒（David Ruelle）。与会代表的名册上有差不多二十个名字，他们全都是这一数量级的学者。

他可以感觉到他的肾上腺素水平开始上升。“我意识到，这对我来说也许是个关键时刻，这是一个向我极想从中获取支持的一群人表述我的报酬递增率概念

的机会。我本能地感到，物理学家会非常易于接受我的观点，但我不很清楚他们会对我的观点说些什么，或阿罗会怎么看。尽管到会的经济学家都是高水准的，但他们主要都是在常规经济学理论方面享有声誉的人，所以我完全不知道他们会对我的观点做何种反应。没有任何迹象可供我参考。我也不知道我该对我的演讲定什么样的基调，会不会遭到猛烈抨击，有时会出现这种情况，也许会是一片友好的气氛。”

所以，当会议开始的日期，9月8日星期二逼近时，阿瑟与斯图尔特·考夫曼一起散步和谈话的时间就越来越少了，他把越来越多的时间花在了完善他的演讲上。他说：“太极拳教你吸纳攻击和迅速反击，我想我也许需要学会这个。要使自己在火炮的攻击之下站稳脚跟，最好的办法就是练习慢动作的武术。因为每当你打出一拳，都可以把它想象成是向听众传达某些观点。”

会议于上午9点，在修道院内小教堂改成的会议室里开幕。与会者围绕两排可折叠的长桌而坐。阳光透过彩色玻璃窗洒落在会议室，一如往常。

在安德森做了简短的介绍，说明了他对此次会议主要讨论议题的希望之后，阿瑟站起来开始了他的第一个正式演讲，题目是：“经济学中的自我强化机制”。当他开始做这个演讲时，不知为什么，他感到阿罗的神情变得非常关注，仿佛在担心阿瑟这个家伙会不会向物理学家展现一个非常怪异的经济学图景。安德森说：“我知道阿瑟的表达能力非常强，从研究所这方面来说，在经济学上有许多想开拓的方面，但却没有形成任何知识层面的东西，也没有任何可以损失的东西。如果这次实验失败了，那就是失败了。”

但无论安德森的担心是否是有意识的，那天早上他显然依旧保持着严格的分析本能，甚至只会更加如此。阿瑟的发言一开始就刻意吸引物理学家的注意。当他使用“自我强化机制”这样的措词时，他解释说，他基本上是在谈论经济学中的非线性现象……

“等等”安德森打断他说：“你所说的非线性的准确含义是什么？你是说所有的经济现象都是非线性的吗？”

嗯，可以这么说吧。阿瑟回答。用数学的准确性来说，报酬递减率的一般假设对应的是“二级”非线性经济学方程式，在这个方程式中，经济总是趋向均衡和稳定。而他关注的是“三级”非线性，即，那些导致经济的某些方面远离均衡

的因素，工程师们将这称之为“正反馈”。

阿瑟的回答似乎令安德森满意。他在谈到许多观点的时候都可以看到安德森、潘恩斯和其他物理学家频频点头赞同。报酬递增率、正反馈、非线性方程式，这些对物理学家来说是非常熟悉的东西。

当早上的会议进行了一半的时候，安德森举手提问道：“经济学是不是很像自旋玻璃 (spin glass)？”可以理解，阿罗会插问：“什么是自旋玻璃？”

正巧阿瑟这些年读了不少凝聚态物理学方面的书，非常清楚什么是自旋玻璃。这个名词指的是一组没有任何实用价值的磁性物质，但它的理论特征却令物理学家着迷。自六十年代发现了这种物质以后，安德森对它做过研究，还在该领域与人合作发表过几篇重要的论文。就像我们更为熟悉的铁这类磁性物质一样，自旋玻璃的主要成分是金属原子，其电子有一种被称为“自旋”的纯粹旋转运动的特性。其自旋也像铁一样，可以导致每一个原子产生一个微小的磁场，而这些磁场散发的磁力又导致了相邻原子的自旋。但与铁不同的是，自旋玻璃中原子的相互作用力不会导致所有的自旋彼此联手，产生大规模的磁场效应，在这一点上并不像我们所看到的指南针和冰箱上的磁铁。

相反，自旋玻璃的磁力完全是随意的，也就是物理学家称之为“玻璃”的状态。（方格窗户玻璃中的原子结合物的性质也同样是随意的。其实从技术上说，普通的玻璃可以被称为固体，也可以被称为特殊的粘性液体，完全是随意的。）别的不说，玻璃在原子层面上的无序意味着，自旋玻璃是正反馈和负反馈的复杂混合物，在这之中，每一个原子都尽力与它邻近的原子组成平行的旋转，又和其它原子成反向的旋转。一般来说，这根本就是无法持续保持的状态。每一个原子在与邻近的一些它并不想与之结为同盟的原子结盟时总是会受到一定的阻力，但在同样的意义上，安排自旋的方式又非常广泛，因此对任何一个原子来说，这种阻力都在合理的忍受范围之内。物理学家把这种情况称之为“局部均衡”。

是的，阿瑟同意将经济学比喻成自旋玻璃。从这个意义上说，自旋玻璃是对经济的一个很好的比喻。“经济自然是正反馈和负反馈的混合，经济会产生非常多的自然状态，或多种平衡状态。”这正是他在报酬递增率经济学中一直在力图表述的情形。

这时阿瑟看到物理学家在更频繁地点头表示赞同。嘿，这种经济学还不错。

安德森说：“我和布赖恩真的很有同感。阿瑟的演讲给我们留下了很深刻的印象。”

阿瑟的演讲就这样持续了整整两个小时：锁定、途径的相互依赖、克沃提（QWERTY）键盘和可能的无效率、硅谷的起源。阿瑟说：“我发言时，物理学家们一直在点头和微笑。但每隔十分钟左右，阿罗就会说：‘等等。’然后请求我做更详尽的阐述，或解释他为什么不同意我的观点。他想确切地弄清楚我推理的每一步。当我开始阐述精确的定理时，他和在场的几位经济学家希望看到准确的证据。这拖宕了我的演讲，但却使我的立论更加无懈可击。”

阿瑟最后精疲力尽地坐了下来，他知道他在报酬递增率研究上的前途有望了。阿瑟说：“我的观点在那天早晨被合法化了。不是我说服了阿罗和其他人，而是物理学家说服了经济学家，让他们承认了我所做的研究对他们来说如同面包和黄油一样重要。物理学家们大致上是在说：‘这家伙知道自己在说些什么，你们经济学家不用担心。’”

也许这只是他的猜测。但在阿瑟看来，阿罗似乎明显放松了下来。

如果阿瑟的演讲让物理学家得到物理学家和经济学家的思维是在同一个频道上这个印象，那么他们很快就纠正了这一看法。

在会议的前两三天中，由于物理学家的经济学知识仅限于大学本科的经济学教科书的水平，阿罗和安德森就邀请好几位经济学家对常规新古典经济学做了概括性演讲。“我们都对此怀着浓厚的兴趣。”安德森说。对物理学家而言，经济学理论一直是他们的知识嗜好。“我们很希望能学点这方面的知识。”

确实，当一大难的原理、定律和证据通过投影仪在屏幕上显示出来时，物理学家们简直就被经济学家的数学才能给镇住了。他们感到既敬佩又惊骇。他们产生了像阿瑟和其他许多经济学家多年来发出的对传统经济学的反叛观点。一位年轻的物理学家说，他记得当时他不相信地摇着头说：“这些理论也太完善了。经济学家似乎是陶醉在自己的数学公式中，以致于到了完全只见树木，不见森林的地步。经济学家耗费了大量的时间，极力将数学融入经济学，我想他们可能完全忘记了创造这些数学模型究竟是为了什么、这些模型究竟是什么、或内含的假设是否有任何意义。在许多情况下，所需要的只是常识而已。也许如果他们的智商都很低的话，他们所做的模型能够更完善一些。”

当然，物理学家对数学本身并无异议。物理学较之其他最彻底数学化的科学要更借助于数学工具。但为大多数经济学家所不知，而且发现后会感到惊讶的是，物理学家对数学的态度相对比较漫不经心。“物理学家们用一点儿严谨的思想、用一点儿本能、也在信封的背面做一些计算。所以他们的风格确实非常不同，”阿罗说，他记得当他自己发现这一点时也感到非常惊讶。其道理在于，物理学家总是要通过实证来确立自己的假设和理论。“我不知道在相对论理论这类的研究领域的情形是怎样的，但物理学的总的趋向是，你先做一下计算，然后再通过实验获取数据来证明。所以在理论上缺乏严谨性并不是十分严重的问题，理论的错误总是会被实验纠正的。但在经济学上，我们不能取得证明理论质量高低的数据资料，不可能像物理学家获取数据资料那样获取经济学的的数据资料。我们的研究不得不从一个很小的基础上深入展开，所以我们不得不确保理论上的每一步推理都准确无误。”

这是一个很公道的理由。但经济学家确实因此而很少关注确实存在的实证。物理学家提出来的这一点看法仍然让经济学家感到气馁。比如，时不时就会有人问这样的问题：“非经济的影响有多大？比如像石油输出国组织的石油价格中的政治动机和股市上的大众心理。”而经济学家则不是对这些他们视之为较为不科学的、一堆乱麻的问题不以为然地撇嘴，就是给予这类的回答：“这类非经济因素确实并不重要”，或“这些因素确实很重要，但它们实在难以用经济学来处理”，或“这些问题也不总是很难对付，事实上，在一些特殊的情况下，我们正在用经济学的办法对付这些问题”，或者“我们根本不需要去理睬这些非经济因素，因为这些因素会在经济效应中自行消解”。

然后就是这个“合理期望”的理论。阿瑟记得在他第一天的报告中有人问他：“经济学是不是比物理学要简单多了？”

阿瑟回答说：“从某种意义上来说是这样的。我们把粒子叫作‘作用者’——像银行、公司、消费者、政府等。这些作用者之间会产生相互作用，就像粒子之间会产生相互作用一样。只是，在经济学中，我们通常不怎么考虑空间尺度，这就使经济学比物理学要简单得多了。”

但他又接着说，经济学与物理学之间仍然存在很大的区别。“经济学的粒子很聪明，而物理学的粒子很笨拙。”在物理学中，基本的粒子没有历史、没有经

验、没有目标、也没有对前途的担忧和希望。它只是单纯地存在。这就是为什么物理学家可以自由自在地大谈“宇宙规律”的原因。阿瑟说，物理学家的粒子对外界的力量只是完全顺从地做盲目的反应。而在经济学中，“我们的粒子会提前做出预期，会力图想弄明白，如果他们采取某种行动，其它粒子会做出何种反应。不管你如何模拟，我们的粒子采取行动是基于期望和战略考虑。而这正是经济学的真正困难之处。”

他说，他马上就看到会议室里所有的物理学家都坐直了身子。“经济学的问题并不简单，经济学像他们的物理学，但这门学问有两个有趣的怪词：战略和期望。”

但不幸的是，经济学家对期望问题的常规性解释，也就是期望完全是建立在理性的基础上这样一种解释，在物理学家中掀起了轩然大波。对完全理性的作用者确实可以做出完全正确的预测这一点，即，假设人类对一切都先知先觉，因此所做出的选择可以一直适用至很久以后的未来，人类用准确无误的理性预测他们将要采取的行动所意味的所有结果。这样你就可以安全地说，人类在任何情况下都会根据所获信息采取最有利的行动。当然，在某些情形下人类也会出现决策失误的情况，比如在发生石油危机、技术革命、对银行利率的政治干预和其他非经济的意外情况时，但人类有足够的聪明和敏捷来调整自己的行动，因此总是能够使经济处于滚动中的均衡状态，供永远会准确无误地等于求。

当然，唯一的问题是，人类既不是完全理性的，也无法对未来做出百分之百正确的预测，正如物理学家长篇大论地抨击的那样。更有甚者，就像好几位物理学家所指出的那样，就算你假设人类是完全理性的，再进一步假设人类可以对未来做出完全正确的预测，在理论上也存在漏洞。在非线性系统中——经济学无疑是非线性的——混沌理论告诉我们，你所知的内部环境中的哪怕是最小的不确定性都往往会产生不可逆转的后果，也许仅隔了一会儿，你的预测就可能变成一派胡言。

阿瑟说：“物理学家们一直在挤兑我们。他们对经济学家所做的假设感到非常吃惊。对假设的检验不是来自现实生活，而是看这一假设是否符合经济学领域的流行观点感到非常吃惊。我看到安德森往椅子后背一靠，脸上挂着微笑问“‘你们真的相信这一套？’”

被逼到死角的经济学家们回答：“但这有助于我们解决一些问题。如果不做这些假设，就什么都无法做了。”

物理学家们会立刻反驳道：“但这能帮你们解决什么问题呢？如果这种假设不符合现实情况，你们还是无法真正解决问题。”

经济学家本来就不是以虚心求知而著称的，桑塔费研究所的经济学家们如果不被所有这些攻击所激怒就不是经济学家了。他们可以在自己人圈子里抱怨经济学的缺陷，毕竟阿罗还特意找来了学识广博的常规经济学的怀疑者来参加此次会议。但谁愿意从外人嘴里听到对经济学的批判呢？尽管每个经济学家都在尽力洗耳恭听，表现得彬彬有礼，以使会议能够顺利进行，但在感情上他们却持一种明显的抵抗情绪：“物理学又能给我们提供什么帮助呢？难道你们这些家伙就这么聪明？”

当然，物理学家也并不以虚心求知而著称。事实上，对许多物理学以外的人来说，物理学家给人的印象，直接进入脑海的词语就是“令人无法忍受的傲慢”。这并不是物理学家故意摆出来的态度，也不是他们的个性使然，而更像是英国贵族无意识中流露的优越感。确实，在物理学家的头脑中，他们就是科学界的贵族。他们从修第一门物理学课程开始就从无数的微妙和不微妙的方式中感染上了这种贵族意识：他们是牛顿、马克斯韦尔、爱因斯坦和波尔的继承者。物理学是最坚实、最纯正、最强健的科学，所以如果经济学家在桑塔费会议上显露出强硬的态度，那他们马上就会采取以强对强的态度，就像经济学家拉里·萨默斯调侃的那样：采取“我是泰山，你是简”的态度：“给我们三周时间来掌握经济学，我们就能告诉你们怎样做才对。”

代表瑞德参加会议的尤金尼亚·辛格一直在担忧双方的这种自我中心所导致的潜在冲突。她回忆说：“我真怕这种‘泰山’效应一旦触发，我们的整个研究计划在出台前就会被扼杀在试管中。”而在开始时，事情好像真在往这个方向发展。“大多数经济学家坐在桌子的一边，大多数物理学家坐在另一边。我被这种现象吓坏了。”她时不时地把潘恩斯和考温叫到一边说：“能不能让双方坐得稍稍靠近些？”但这种情况并没有得到改观。

经济学家和物理学家潜在的完全无法沟通的危险对乔治·考温来说也无异于一场恶梦。倒并不是因为如果会议失败了，研究所也许会失去花旗银行的资金支

持，而是这次会议是对桑塔费研究所理念的最有说服力的证据。两年前，在初创期的研讨会上，他们把各路英雄召集在一起讨论了一个周末。而现在是把两组完全不同的，又非常骄傲的人放在一起开 10 天的会，共同研究实质性的问题。考温说：“我们试图创造一个以前从不曾存在过的学术群体。但也许会不成功，也许他们彼此之间没什么可谈的，也许根本就只是双方激烈的论战。”

这不是一个毫无根据的担忧，后期的桑塔费研讨会偶尔也会出现与会者相互之间剑拔弩张的情况。但 1987 年 9 月，主宰跨学科研究的神明决定再次展露微笑。安德森和阿罗已经尽力吸收了能够倾听和交谈的人参加会议。尽管双方之间潜在着怒气，但与会者最终还是发现他们有许多共同的谈资。其实现在回想起来，双方在非常短的时间内就开始达成了共识。

当然，对阿瑟来说更是如此，他只用了半天时间就与物理学家达成了共识。

第五章 游戏高手

根据议程安排，经济学研讨会的第二场发言从会议第一天的午饭之后开始，安排了整个下午的时间。发言的题目是《作为适应性过程的全球经济》，发言人是来自密西根大学的约翰·荷兰德（John H. Holland）。

阿瑟已经做完演讲，现在已有精力对这个发言发生兴趣了。这倒也不只是因为这个发言的题目听上去很有意思。约翰·荷兰德是那年秋天研究所的访问学者之一，他们俩被安排住在同屋，但荷兰德在会议开始的前一天深夜才赶到桑塔费，那时阿瑟正在修道院最后一遍遍地斟酌他的发言，根本无暇顾及这个新来者。关于荷兰德，他所知道的就是，他是一个计算机专家，根据研究所的评价，是一个“非常好的人”。

研究所对荷兰德的评价似乎不错。当大家陆续回到小教堂改成的会议室，坐回到折叠长桌旁自己的椅子上去时，荷兰德已经站在讲台前准备开始发言了。他是个精悍的、六十开外的中西部人，宽阔红润的脸庞上似乎永远挂着微笑，高昂的嗓音使他说起话来像个热情澎湃的研究生。阿瑟立刻就喜欢上了他。

荷兰德开始发言了，起初阿瑟有点儿瞌睡懵懂，似乎是在被动听讲，但几分钟之内他就睡意全无，一下子就打起了精神，变得全神贯注了。

永恒的新奇

荷兰德一开场就指出，经济学是桑塔费研究所致力于研究的“复杂的适应性系统”的一个最好范例。在自然界，这样的系统包括人脑、免疫系统、生态系统、细胞、发育中的胚胎和蚂蚁群等。在人类社会，这样的系统包括文化和社会制度，比如政党和科学社团。事实上，一旦你学会了如何辨认这些系统，这些系统就变得无处不在。但无论你在什么地方发现这些系统，它们似乎都有某种至关重要的共性。

第一，每一个这样的系统都是一个由许多平行发生作用的“作用者”组成的

网络。在人脑中，作用者是神经细胞；在生态系统中，作用者是物种；在细胞中，作用者是细胞核和粒线体这类的细胞器；在胚胎中，作用者就是细胞，等等。在经济中，作用者也许是个人或家庭。或者，如果你观察商业圈，作用者就会是公司。如果你观察国际贸易，作用者就是整个国家。但不管你怎样界定，每一个作用者都会发现自己处于一个由自己和其他作用者相互作用而形成的一个系统环境中。每一个作用者都不断在根据其他作用者的动向采取行动和改变行动。正因为如此，所以在这个系统环境中基本上没有任何事情是固定不变的。

荷兰德说，更进一步的是，一个复杂的适应性系统的控制力是相当分散的。比如说，在人脑中并没有一个主要的神经元，在一个发育的胚胎中也没有一个主要的细胞。这个系统所产生的连续一致的行为结果，是产生于作用体之间的相互竞争与合作。即使在经济领域也是这种情形。问一问任何一位在久滞不去的经济衰退中挣扎的总统吧：无论华盛顿怎样调整银行利率、税收政策和资金供给，经济的总体效果仍然是千百万个人的无数日常经济决策的结果。

第二，每一个复杂的适应性系统都具有多层次组织，每一个层次的作用者对更高层次的作用者来说都起着建设砖块的作用：比如一组蛋白、液体和氨基酸会组成一个细胞，一组细胞会组成生理组织，一组生理组织会形成一个器官，器官的组合会形成一个完整的生物体，一群不同的生物体会形成一个生态环境。在人脑中，一组神经元会形成语言控制中心，另一组神经元会形成行动皮层，还有一组神经元会形成视觉皮层。一组劳动者会以完全相同的方式形成一个部门，很多部门又会形成更高一级的部门，然后又形成公司、经济分支、国民经济，最后形成全球经济。

还有荷兰德认为非常重要的一点是，复杂的适应性系统能够吸取经验，从而经常改善和重新安排它们的建设砖块。下一代的生物体会在进化的过程中改善和重新安排自己的生理组织；人在与世界的接触中不断学习，人脑随之不断加强或减弱神经元之间无数的相互关联；一个公司会提升工作卓有成效的个人，为提高效率而重新安排组织计划；国家会签定新的贸易合同，或为进入全新的联盟而重新结盟。

在某种深刻而根本的层面上，所有这些学习、进化和适应的过程都是相同的。在任何一个系统中，最根本的适应机制之一就是改善和重组自己的建设砖块。

第三，所有复杂的适应性系统都会预期将来。很明显，这对经济学家来说没有什么可大惊小怪的。比如说，对一个持续已久的经济衰退的预期会使个人放弃买一辆新车，或放弃过一个很奢侈的假期的计划，这样反过来又加深和延长了经济衰退。同样，对石油短缺的预期也能导致石油市场抢购和滥卖的巨浪——无论石油短缺的情况是否会出现和消失。

但事实上，这种预期和预测的能力和意识并非只是人类才具有。从微小的细菌到所有有生命的物体，其基因中都隐含了预测密码。“在这样或那样的环境中，具有这样的基因蓝图的生物体都能很好地适应。”同样，一切有脑子的生物体，在自己的经验库存中都隐含了无数的预测密码：“在 ABC 情况下，可能要采取 XYZ 行动。”

荷兰德说，更为一般性地说，每一个复杂的适应性系统都经常在做各种预期，这种预期都基于自己内心对外部世界认识的假设模型之上，也就是基于对外界事物运作的明确的和含糊的认识之上。而且，这些内心的假设模型远非是被动的基因蓝图。它们积极主动，就像计算机程序中的子程序一样可以在特定的情况下被激活，进入运行状态，在系统中产生行为效果。事实上，你可以把内心的假设模型想象成是行为的建设砖块。它们就像所有其它建设砖块一样，也能够随着系统不断吸取经验而被检验、被完善和被重新安排。

最后一点，复杂的适应性系统总是会有很多小生境，每一个这样的小生境都可以被一个能够使自己适应在其间发展的作用者所利用。正因为如此，经济界才能够接纳计算机程序员、修水管的工人、钢铁厂和宠物商店，这就像雨林里能够容纳树獭和蝴蝶一样。而且，每一个作用者填入一个小生境的同时又打开了更多的小生境，这就为新的寄生物、新的掠夺者、新的被捕食者和新的共生者打开了更多的生存空间。而这反过来又意味着，讨论一个复杂的适应性系统的均衡根本就是毫无意义的：这种系统永远也不可能达到均衡的状态，它总是处在不断展开，不断转变之中。事实上，如果这个系统确实达到了均衡状态，达到了稳定状态，它就变成了一个死的系统。荷兰德说，在同样的意义上，根本就不可能想象这样的系统中的作用者会永远把自己的适存性、或功用性等做“最大化”的发挥。因为可能性的空间实在是太大了，作用者无法找到接近最大化的现实渠道。它们最多能做的是根据其他作用者的行为来改变和改善自己。总之，复杂的适应性系统

的特点就是永恒的新奇性。

各种作用者、建设砖块、内在假设模型和永恒的新奇——所有这些概而言之，毫不奇怪地会使复杂的适应性系统非常难以用常规的理论机制来分析。大多数像计算或线性分析等常规技术非常适于用来描述在不变的环境中的不变的粒子，但如果要真正深刻地理解经济，或一般性的复杂的适应性系统，就需要数学和可以用来强调内在假想模型、新的建设砖块和多种作用者之间相互关联的繁杂大网的计算机模拟技术。

荷兰德谈到这些时，阿瑟飞快地做着笔记。当荷兰德开始描述他在过去的三十年中为使自己的这些想法更为准确、更为实用而开发了各种计算机技术时，阿瑟的笔录越发加快了。“这简直不可思议，”他说，“整个下午我坐在那儿，大张着嘴。”不仅仅因为荷兰德指出的永恒的新奇性恰好是过去的八年中他的报酬递增率经济学一直想阐述的意思，也不仅仅因为荷兰德指出的小生境恰好是他和考夫曼前两周谈论自动催化组时所研究讨论的问题，而是荷兰德整个对事物的看法的完整性、清晰性和公正性让你拍着自己的额头说：“当然！我怎么就没想到呢？”荷兰德的思想对他产生了震动和认同感，从而又在他头脑中激发出更多的想法。

阿瑟说：“荷兰德的每一句话都是在回答我这些年来一直在问自己的所有问题：什么是适应性？什么是涌现？以及许多我自己都没有认识到的我正在探寻的问题。”阿瑟还不清楚如何将这一切应用到经济学之中去。事实上，当他巡视会议室的时候，他可以看见不少经济学家不是持怀疑态度，就是显得很困惑。（至少有一个正在做午后小歇。）“但我相信，荷兰德的研究要比我们的工作精深许多许多。”他甚至觉得，荷兰德的观点是极其重要的。

桑塔费研究所当然也是这样认为的。无论荷兰德的想法对阿瑟和经济研讨会上其他经济学家来说有多么新异，荷兰德本人在桑塔费研究所的经常性成员中已经是个熟悉而非常有影响力的人物了。

他与研究所的第一次接触是在 1985 年的一次题为“进化、游戏与学习”的研讨会上。这个在罗萨拉莫斯召开的研讨会是由法默和派卡德组织的。（正是在这个研讨会上，法默、派卡德和考夫曼第一次做了关于计算机模拟自动催化组的报告。）荷兰德演讲的主题是涌现的研究，演讲似乎非常成功。但荷兰德记得听众中有一个人连续不断地向他提出非常尖锐的问题。这个人一头白发，脸部表情

既专注、又有些玩世不恭，目光透过黑边眼镜射向他。“我的回答相当不客气，”荷兰德说，“我不知道他是谁。如果我知道他是谁，我大概早就吓死了。”

不管荷兰德的回答客气不客气，马瑞·盖尔曼却显然很喜欢荷兰德的回答。在这之后不久，盖尔曼给荷兰德打电话，邀请他来桑塔费研究所顾问团当顾问，当时这个顾问团才刚刚成立。

荷兰德同意了。“我一到这个地方就真的喜欢上了。”他说。“对这儿的人所谈论的问题和所研究的问题，我直接的反应就是‘我当然希望这些家伙也喜欢我，因为我就属于这个地方！’”

这是一种共同的感觉。当盖尔曼提及荷兰德时，他用“才华横溢”这个词来形容——这可不是他随意用来夸赞周围的人的词语，而且盖尔曼也不是经常会为任何事惊诧得瞪圆眼睛的。在早些时候，盖尔曼、考温和研究所的其他创始人几乎一直在用他们所熟悉的物理学概念来思考新的复杂性科学，比如像涌现、集体行为、自组织等问题。而且，好像只要把这些比喻用于相同思想的研究，比如把涌现、集体行为和自发组织这些词汇用于经济学和生物学这类领域的研究，似乎早已能创造出丰富多采的研究计划来了。但荷兰德出现了，带着他对适应性的分析，更不要说他的计算机模拟技术。盖尔曼和其他人突然就认识到，他们的研究计划有一个很大的疏漏：这些涌现结构究竟在干些什么？它们是如何回应和适应自己所在的环境的？

在后来的几个月中，他们一直在讨论这个研究所的研究议题不能只是复杂系统，而应该是复杂的适应性系统。荷兰德个人的研究计划——理解涌现和适应相互牵连的过程——基本上变成了整个研究所的研究计划。1986年8月，在由杰克·考温和斯坦福大学生物学家马克·菲尔德曼主持的研究所的一次大型会议，复杂的适应性系统研讨会上，荷兰德唱了主角（这也是将考夫曼介绍进桑塔费的那个研讨会）。戴维·潘恩斯还安排带荷兰德去和约翰·里德和花旗银行的其他成员进行交谈，那是在和复杂的适应性系统研讨会召开的同一天。在安德森的安排下，荷兰德参加了1987年9月的这次大型经济研讨会。

荷兰德非常愉快地参加了这一系列的学术活动。他已经在适应性概念上默默无闻地进行了二十五年的研究，到现在他已经五十七岁了才被发现。“能够和盖尔曼和安德森这样的人一对一地当面交谈，与他们平起平坐，这太好了，简直不

可思议!” 如果他有办法让他的妻子离开安·阿泊(他妻子是大学九个科学图书馆的负责人), 他在新墨西哥呆的时间会比现在更长。

但荷兰德始终是个乐天派。他这一生始终在做他真正喜欢做的事, 而且总是惊喜自己能有好运气, 所以他有一个真正快乐的人的坦率 and 好脾气。不喜欢荷兰德几乎是不可能的。

比如阿瑟, 甚至根本就没想过要抗拒荷兰德对他的吸引力。第一天下午, 当荷兰德做完报告之后, 阿瑟就迫不及待地上前去介绍自己。在后来的会期中, 两个人很快就成为好朋友了。荷兰德发现阿瑟是个令人感到愉快的人。“很少有人能这么快接受适应性的概念, 然后这么快就把这个概念彻底融入自己的观念的人,” 荷兰德说, “布赖恩对这整个概念都十分感兴趣, 而且很快就深入了进去。”

同时, 阿瑟觉得荷兰德很显然是他在桑塔费所结识的最复杂、最吸引人的知识分子。确实, 他在经济学研讨会所剩的时间里之所以一直处于兴奋无眠的状态, 荷兰德是主要原因之一。他和荷兰德有许多夜晚坐在他们合住的房子厨房的餐桌旁, 一边喝着啤酒, 一边讨论着各种问题, 一直到深夜。

他尤其记得其中的一次谈话。荷兰德来参加这次经济学研讨会, 是急于想知道什么是经济学的关键问题。(荷兰德说: “如果你想从事跨学科研究, 进入其他人的学科领域, 你最起码应该做到的是, 要非常认真地面对他们的问题。他们已经耗费了很多时间来研究这些问题了。”) 那天晚上, 当他们俩坐在厨房的餐桌旁时, 荷兰德很直截了当地问阿瑟: “布赖恩, 经济学的真正问题是什么?”

阿瑟不假思索地回答道: “就像下国际象棋!”

国际象棋? 荷兰德不解其意。

嗯, 阿瑟啜了一口啤酒, 琢磨着用什么恰当的词来表述。他自己都不太清楚他想说明什么意思。经济学家一直在讨论既简单又封闭的系统, 在这种系统中, 他们能够很快找出一组、两组或三组行为方式, 然后就不会再发生别的什么事情了。他们总是心照不宣地把经济作用者假设成永远聪明绝顶, 在任何情况下总是能够立即做出准确无误的最佳选择。但想想这在下国际象棋时意味着什么。在博弈游戏的数学法则中, 有一个定理告诉你, 任何有限的、两人对抗的、结局为零的游戏, 比如象棋, 都有一个最优化的解, 这就是, 有一种选择走棋的方法能够允许执黑子的和执白子的双方棋手都能走出比他们所做的其他选择更好的棋

步。

当然，在现实中，没人知道这个解，也没人知道该如何找到这个解。但经济学家所谈论的这些理想化的经济作用者却能立刻就找到这个解。当国际象棋一开始，两军对弈，这两个棋手就能够在脑海中构想出所有的可能性，能够倒推出所有可以逼败对方的可能的棋着。他们能够一遍遍地反推棋步，一直算计到所有的可能性，然后找到开始布局的最佳棋步。这样，就没有必要实际去下象棋了。不管是哪一方棋手掌握了理论优势，比方说是执白子的棋手，反正知道自己总是会赢，就可以立刻宣告胜利。而另一个棋手知道自己反正总是会输，那就可以立即宣告失败。

“谁这样下国际象棋？”阿瑟问荷兰德。

荷兰德笑了，他完全明白了这有多荒唐。在四十年代，当计算机刚刚出现，计算机研究人员刚开始设计能够下国际象棋的“智能”程序时，现代信息理论之父，贝尔实验室的克劳德·申农（Claude Shannon）估算了一下国际象棋棋步的总数。他得出的答案是，10 的 120 次方，这个数字大得无可比喻。自从大爆炸到现在的时间用微秒计算，也还没有这么多微秒。在我们肉眼可见的宇宙中也没有这么多的基本粒子。没有任何一种计算机能够算到所有这些棋步，当然这更不可能是人脑所及的。人类棋手只能根据实际经验来判断在什么情况下采取什么战略为最佳，就是最伟大的国际象棋高手也得不断探索棋路，就好像掉进了一个深不见底的黑洞，只能靠一个微弱的灯笼探路而行。当然，他们的棋路会不断改进。荷兰德自己也是个国际象棋棋手，他知道二十年代的象棋高手决无可能下赢像加利·卡斯帕洛夫（Gary Kasparov）这样的当代国际象棋大师。但即便如此，他们也好像只在这个未知世界里前进了几码而已。这就是为什么荷兰德从根本上把国际象棋称之为“开放”的系统：它的可能性实际上是无穷无尽的。

没错，阿瑟说。“人们实际上能够预测和采取行动的类型与所谓‘最佳化’相比是非常局限的，你不得不假设经济作用者比经济学家要聪明得多。”然而，“对最优化的假设就是我们目前对付经济问题的方法。对日贸易至少和下国际象棋一样复杂，但经济学家却仍然在那里说：‘假设这是个理性的游戏。’”

所以，他告诉荷兰德，这就是经济学问题的实质之所在。面对并非尽善尽美，但却十分聪明，不断探索无穷可能性的作用者，我们应该如何建立这门科学？

“啊哈！”荷兰德说，每当他弄明白一件事时总爱这么说。国际象棋！现在他理解了这个比喻。

可能性的无限空间

荷兰德喜欢玩游戏，喜欢玩所有的游戏。他在安·阿泊的近三十年中，每个月都去玩扑克牌。他最早的记忆之一就是在他祖父家看大人们玩纸牌，那时他恨不得长大到也能坐在桌子旁一块儿玩。上小学一年级时他就从他妈妈那里学会了下棋。他妈妈还是个桥牌高手。荷兰德全家都热衷于航海，荷兰德和他妈妈经常赛船。荷兰德的父亲是个第一流的体操运动员，同时热衷于户外活动。荷兰德上初中时练了好几年体操。全家总是不断变换游戏花样：桥牌、高尔夫、槌球、围棋、象棋、跳棋，凡能玩的，没有他们不玩的。

但不知为什么，对他来说，游戏早就不仅仅只是好玩而已了。他开始注意到，有一些游戏有一种特殊的吸引力，这股魔力超过了输赢的问题。比如说，当他还在读中学一年级的时候，大约是在1942年或1943年，他家住在俄亥俄州的凡·沃特时，他和他的几个好朋友经常久久逗留在华利·普特家的地下室里发明新的游戏。他们最得意的发明是一个占用了大半个地下室的战争游戏，那是他们从报纸的头条新闻中获得灵感而发明的。这个游戏中有坦克和大炮，还有发射表和射程表。他们甚至还发明了一些把游戏图的某些部分掩盖住，来模拟烟幕。荷兰德说：“这个游戏变得相当复杂。我记得我们还用我爸爸办公室的油印机来印制战争游戏的图纸。”（老荷兰德在经济萧条时期在俄亥俄州的大豆生产带创建了一系列的大豆加工厂，从而繁荣发展了起来。）

荷兰德说：“我们没有像你这样描述过下象棋，但我们实际上就是这样下象棋的，因为我们三个人都对下象棋感兴趣。国际象棋是个只有很少几条游戏规则的游戏，但令人无法置信的是，在国际象棋中永远不可能有相同的两局棋。棋路的可能性简直无穷无尽，所以我们就试图发明具有同样性质的游戏。”

他笑着说，自从那以后他一直在以这样或那样的方式发明各种游戏。“我喜欢在事情发生变化时说：‘嘿，那真是我们假设的结果吗？’因为如果结果证明我的假设是对的，如果事物主题进化的潜在规律确实是在某种控制之下，而不是

由我说了算的，那我就会感到很惊奇。但如果结果并不令我感到惊奇，那我就不会感到愉快，因为我知道，得到这个结果是由于从一开始我就设置好了一切。”

当然现在我们把这类事称为“涌现”。但在荷兰德远还没有听到这个提法以前，他对涌现的迷恋就已经使他把他毕生的热爱都贡献给了科学和数学。在科学和数学领域中他永远都无法满足。他说在他的整个中学时代，“我记得我去图书馆，将凡是与科学有关的书籍都涉猎遍了。我上中学二年级时就决心要当个物理学家。”科学之深深吸引他之处，并不是科学能使他将宇宙归纳成几个简单的规律，而是正好相反：科学可以告诉你，几条简单的规律是如何产生整个世界变幻无穷的行为表现的。“这真的使我感到非常愉快。在某种意义上，科学和数学是简化的极至。但如果你反过来，观察宇宙规律所囊括的各个方面，出人意料的可能性简直可以是无穷无尽的。这就是为什么宇宙在一个极端上十分易于理解，在另一个极端上却又永无可能理解的道理。”

荷兰德 1949 年秋季入学麻省理工学院。入校没过多久他就发现，计算机也具有令他同样惊奇的特质。他说：“我真的不知道计算机的这种特质从何而来。但我很早就迷上了‘思考程序’，也就是你只消在计算机内设定很少数据，就可以让它做所有像整合这样的事情。这在我看来，似乎是只需要放入极少东西，就能得到无限丰富的结果。”

但不幸的是，起初荷兰德能够学到的计算机知识只有他在电机课上获取的零星的二手资料。电子计算机当时还很新奇，大多数计算机知识还处于保密阶段。当然大学还没有开设计算机课程，即使在麻省理工学院也还没有开设。但有一天，当荷兰德又像往常一样在图书馆浏览书刊时，他翻到一个由简单的论文封面套着的一系列活页演讲笔记。他在翻阅这些笔记时发现，这份笔记详细谈到 1946 年在宾夕法尼亚大学摩尔电机系举办的研讨会内容，其中记载，战时宾州大学为了计算大炮的射程表而发明了美国的第一台数控计算机 ENIAC。“这些笔记很有名，这是我第一次接触到真正的关于数控计算机的详细资料，里面包括对从计算机建构到软件设计的详尽记录。这一系列演讲就是在这个基础上探讨信息和信息处理的全新概念，并诠释了一种全新的数学技艺：编程。荷兰德立刻就买下了这个演讲的复印稿，一页一页细读了许多遍。事实上，这份演讲稿他到现在还保留着。

1949 年秋季，当荷兰德开始了他在麻省理工学院的大四课程，四处寻找学

士论文题目时，他发现了旋风计划 (Whirlwind Project)：麻省理工学院将建一个速度能达到跟踪空中交通的“实时”的计算机。由海军资助的旋风计划的年资助额为一万美元，这在当时是一个令人目眩的数额。麻省理工为此雇用了七十名工程技术人员，这无疑是当时最大的计算机项目，也是最具发明性的研究之一。旋风将是第一台采用磁心记忆和交互式显示屏的计算机，它将产生计算机网络和多程序（一次运作多个程序）。作为第一台实时计算机，它将为计算机应用于空中交通控制、工业流程控制、以及计算机应用于预售票和银行铺平道路。

但当荷兰德刚听说这个消息时，旋风还仅仅停留在实验阶段。“我知道麻省理工在研制旋风，它还尚未被研制成功，还在研制之中，但已经可以用了。”不知为什么，他一心想参与进去。他开始四处敲门，在机电系发现了一个名叫赛德奈克·考派尔 (Zednek Kopal) 的捷克天文学家，曾经教过他数值分析。“我说服他主持我的论文评议委员会，又让物理系同意让电机系的人来主持我的论文评议委员会，然后我又说服了参与旋风计划的人让我能够看到他们的操作手册。当时操作手册是保密的！”

“那也许是我在麻省理工最快活的一年。”他说。考派尔建议他论文的题目是为旋风编一个程序来解拉普拉斯 (Laplace) 方程式。拉普拉斯方程式描述的是多种物理现象，从围绕任何带电物的电场分布，到紧绷的鼓面震动。荷兰德立刻就着手这项研究。

这不是麻省理工学院最容易做的毕业论文。在那时，还没有人听说过像 Pascal、C 或 FORTRAN 语言。确实，把对计算机的命令转化为数字编码的计算机编程语言直到五十年代中期才被发明出来。那时就连一般的十进制的语言都还没有，还是十六进制的。他在毕业论文上所耗费的时间比他想象的要长，最后他不得不申请麻省理工学院宽限比通常完成学士毕业论文所允许的长两倍的时间。

但他非常热衷于这项研究。“我喜欢这个过程逻辑本质，”他回忆说，“编程与数学有同样的特点：你走了这一步，然后你就可以由此走下一步。”但更重要的是，为旋风编程序使他认识到，计算机并不只是实施快速计算。在一系列神秘的六位十进制数字中，他可以随意设计震动的鼓面，或旋绕的电场等任何东西。在循环的数位中，他可以创造想象中的宇宙。所需要做的只是把适当的规律编码进去，然后其他的一切就会自然展开。

荷兰德的毕业论文从一开始就只是个书面设计，他编制的程序从未真正在旋风上运作过，但在另一个方面，他的毕业论文却收获颇丰：他成了全美国少数几个懂得一些编程的人之一。结果 1950 年他刚毕业就被 IBM 公司录用了。

这个时机真是再好不过了。当时 IBM 在纽约普夫吉普斯 (Poughkeepsie) 的巨大工厂正在设计第一台商用计算机：国防计算机，后来被重新命名为 IBM701。当时设计生产这台计算机代表了一个前途未测的重大赌注。许多思想保守的行政管理人员都认为研制这种计算机是浪费钱财，还不如把钱投资于改良打孔机上。事实上，产品企划部在 1950 年花了整整一年的时间坚持说，全国的市场对这类计算机的需要永远不可能超过 18 台。IBM 公司坚持研制国防计算机的主要原因，是因为它是一个叫作小托马斯的后起之秀的钟情项目。小托马斯是 IBM 公司年迈的总裁托马斯·B·华生 (Thomas B. Watson) 的儿子和当然继承人。

但荷兰德当时只有二十一岁，对此知之甚少。他只知道自己已被置入圣境。“我已经到了这里，一个这么年轻的人，在一个这么重要的岗位。我是少数几个知道 IBM701 正发生什么的人之一。”IBM 的项目负责人将荷兰德安排在由七个人组成的逻辑计划小组。这个小组负责设计这台新计算机的指令系统和一般性组织。这是荷兰德的又一个幸运，因为这是一个实践他的编程技术的理想的地方。“最初阶段完成之后，我们得到了最初的机器原型，还必须用各种方式来测试。所以工程师们经常通宵达旦地工作，白天把机器拆卸开，晚上又尽最大的努力把它拼装起来。然后我们少数几个人就会从晚上十一点钟开始，全夜运转我们的程序，看看是否能够正常运作。”

在某种程度上，我们编的程序确实能够运行。当然，用今天的标准来衡量，701 机就像是石器时代的东西了。它有一个巨大的控制板，上面挤满了各种键盘和开关，但还没有屏幕显示器的雏形。这部机器通过标准的 IBM 打孔机执行输入和输出命令，号称足有四千个字节的记忆存储量（今天市面上出售的个人电脑的记忆存储量一般比这大一千倍）。它可以在三十微秒中算出两个数字相乘的结果。（现在所有的手持计算器的功能都比这个强。）荷兰德说：“这个机器也有许多缺陷。最好的情况下，平均每三十分钟左右就会出现一次失误，所以我们每次计算都要做两遍。”更糟糕的是，701 计算机是通过在一个特殊的阴极射线管的表面产生光点来存储资料的。所以荷兰德和他的同事们必须调整算法，以避免过于经

常地在记忆存储的同一个点上写入数据，否则就会增加这一个点上负极射线管表面的电荷，而影响到周围的数据。“我们竟能使计算机运行了，这太令人惊喜了。”他笑道。但事实上他这是认为瑕不掩瑜。“对我们来说，701 计算机就像是一个巨人。我们觉得能有一台快速运转的机器上尝试我们编的程序，真是太好了。”

他们一点儿也不缺少可以用来做尝试的程序。那些最原始、最早期的计算机接纳了关于信息论、控制论和自动机等这些十年前尚不存在的新概念的狂潮。谁知道局限何在？几乎你尝试的任何东西都可能开创出一片新天地。更进一步的是，对于像荷兰德这样更富于哲学思想的开拓者来说，这些聚满了线路和真空管的庞大而笨拙的计算机为思考开拓了全新的方式。计算机也许不是报纸的星期天增刊耸人听闻地形容的那种“巨脑”。事实上，从它们的结构和运作的细节来看，它们和人脑毫无相同之处。但从更深刻、更重要的意义上来说，计算机很类似人脑。一个很诱人的推测是：计算机和人的大脑都是信息处理的装置。因为如果这个情况属实的话，那么，思维本身就可以被理解为是一种信息处理的形式。

当然，那时没人把这种事情称为“人工智能”或“认识科学”。但即使如此，计算机编程本身，作为一种全新的尝试，也正在迫使人们比以往要小心得多地去思考解决问题的真正含义是什么。计算机最终是个外星人：你不得不告诉它一切事情：什么是数据？它们是如何被转换过来的？怎样从这一步到达那一步？这些问题反过来又很快引向了令哲学家们苦恼了几个世纪的问题：什么是知识？知识是怎样通过感官印象获取的？知识是怎样反映在思维上的？是怎样通过吸取经验而完善的？又是怎样被运用于推理判断的？已做的决定是怎样被转化为行动的？

那时对这些问题的回答远还不清楚（事实上，对这些问题的回答到现在也仍不清楚）。但这些问题以一种前所未有的清晰和准确的方式被提出来了。IBM 公司在普夫吉普斯的发展小组作为全美国最杰出的计算机天才的集中地之一，突然走在了计算机发展的前列。荷兰德喜欢回忆一群“经常的非常客”每隔两周左右就会找一个晚上聚在一起，讨论扑克牌游戏或围棋。其中有一个参与者是个名叫约翰·麦卡菲（John McCarthy）的暑期实习生，加州理工学院的一个年轻的研究生，后来成为人工智能的创始人之一。（事实上，是麦卡菲 1956 年为在达特茅

斯学院的一个暑期人工智能研讨会做宣传时发明了“人工智能”这个词。)

另一个人是阿瑟·塞缪尔 (Arthur Samuel)，一个语调柔和、四十岁左右的电机工程师。他是 IBM 公司从伊利诺斯大学招聘来帮助公司制作性能可靠的真空管的，也是荷兰德整夜整夜进行程序运行马拉松的最经常的陪伴者。(他还有个女儿就在附近的凡沙，荷兰德与之还约会过几次。) 塞缪尔显然对真空管失去了兴趣。五年来他一直在尝试编写可以跳棋的程序——不止是会下跳棋，而且要会随着不断吸取经验而越下越好。现在回想起来，塞缪尔的计算机跳棋被认为是人工智能研究方面的一个里程碑。1967 年，他完成了对这个下跳棋的程序的修改和完善后，这个计算机跳棋手已经能够达到国际大师的水平了。即使到 701 机器时期，他编的程序也显得相当好了。荷兰德记得对此印象极深，特别是它能针对对方的步骤调整自己的战术。大致地说，这是因为这个程序设计了一个简单的“对手”模型，然后用这个模型去预测最佳棋路。尽管当时荷兰德无法将之表述清楚，但他感到电脑跳棋的这个功能正好抓住了学习和适应的某种最本质的东西。

但因为荷兰德要仔细考虑其他事情，所以就把这些想法抛开了。当时他正为自己的研究项目忙得分身无术。他研究的是对大脑内部运作机制的模拟。他记得这项研究始于 1952 年春季，当时他正在听麻省理工学院心理学家利克莱德 (J. C. R. Licklider) 的演讲。利克莱德前来访问普夫吉普斯实验室，同意就当时该领域最热门的话题，蒙特利尔麦克吉尔大学的神经生理学家唐纳德·希伯 (Donald O. Hebb) 关于学习和记忆的新理论，做这个演讲。

利克莱德解释说，问题是，在显微镜下，大脑的大部分都呈现出一片混沌，每一个细胞都随意发出数千条纤维，与数千计其他神经细胞随意相连。然而，这些稠密相连的网络又显然不是随意组成的。一个健康的大脑能够前后连贯地形成感觉、思想和行动。更重要的是，大脑显然不是静止不变的。它可以通过吸取经验来改善和调整自己的行为。它可以学习。但问题是，它是怎样学习的？

在三年前的 1949 年，希伯在他出版的《行为组织》(The Organization of Behavior) 一书中作出了他的回答。他的基本思想是，假设大脑经常在“突触”上做些微妙的变化。突触是神经冲动从这个细胞跳到那个细胞的连接点。这个假设对希伯来说是非常大胆的，因为当时他对此还没有任何证据。但希伯为这一假设阐述说，这些突触上的变化正是所有学习和记忆的基础。比如说，通过眼睛视

觉的感官冲动会通过加强沿途所有突触的方式在它的神经网络上留下痕迹。差不多的情形同样会发生在由耳进入的听觉神经系统、或大脑内其它脑际活动。结果是，随意启动的网络会迅速将自己组织起来。通过某种正反馈，经验被积累了起来：强健的、经常被使用的突触会变得更强健，而弱小、不经常使用的突触会萎缩。被经常使用的突触最后强健到一定程度以后，记忆就被锁定了。这些记忆反过来又会布满整个大脑，每一个突触都与一个复杂的突触形态相对应，这些突触形态包含了成千上万个神经元。（希伯是最先描述这种分布记忆的人之一，这种描述后来被称为“关联论”（connectionist）。）

但希伯的思想还不止这些。利克莱德在演讲中还解释了希伯的第二个假设：有选择的突触强化会导致大脑自组成“细胞集合”——几千个神经元的子结合，其中循环神经冲动会自我强化，继续循环。希伯认为这些细胞集合就是大脑基本的信息建设砖块。每一个细胞集合都与一种声调、一束光线或某种思想的一闪念相对应。但这种细胞集合在生理上并没有特别之处。确实，它们相互重叠，任何一个神经元同属于好几个细胞集合。而且因为如此，一个细胞集合的行动势必带动其他细胞集合的动作，这样，这些基本的建设砖块就会迅速自组成为更大规模的概念和更复杂的行为。总之，细胞集合就是思想的基本量子。

荷兰德坐在听众席上听得呆若木鸡。这可不是当时哈佛的行为学家斯金纳（B. F. Skinner）推崇的枯燥无味的刺激 / 反应心理学。希伯谈论的是精神内部的活动情形。他的关联理论的丰富多采性和令人永恒惊奇的特点引起了荷兰德的强烈反响。这个理论的感觉是对的。荷兰德迫不及待地想运用这个理论做点什么。希伯的理论就像是一扇开启了思想本质的窗户。他想凭窗张望，想看到细胞集合在随意的混沌之中形成自组，不断成长，想观察它们如何相互作用，以及思维本身是如何涌现的。他想观察所有这些是如何在没有外界指导的情况下自然发生的。

利克莱德刚结束对希伯理论的讲演，荷兰德就对 701 计算机组的负责人纳撒尼尔·罗切斯特（Nathaniel Rochester）说：“好吧，我们已经有了这么一台原型计算机，让我们来编写一个神经网络的模拟程序。”

而这正是他们所做的。“他编写了一个程序，我也编写了一个程序。这两个程序在形式上很不相同。我们把它们称为‘概念者’，这绝非自大之言！”

事实上，即使到了四十年之后，当神经网络模拟早就变成了人工智能的标准工具，IBM 的“概念者”的成就也仍然引人瞩目，其基本思想在今天看来仍然非常熟悉。在他们的程序中，荷兰德和罗切斯特把他们模拟的人工神经元当作“节点”——也就是能够记住自己内部状态中某些事情的小计算机。他们将自己的人工突触模拟成各种节点之间的抽象结合点，每一个结合点都有一定的“重量”，与突触的强度相对应。他们还用通过网络吸取经验来调节强度的方式模拟希伯的学习规则。但荷兰德、罗切斯特和他们的同事们还采用了比今天的大多数神经网络模拟远为详尽的基本神经生理学知识，包括模拟神经元的反应有多快、如果神经元过于经常起反应，疲劳程度如何这样的因素。

毫不奇怪，他们的这些研究进展困难。不仅仅是因为他们所编写的程序是神经网络模拟方面最原初的研究，而且也因为这使计算机首次被用于模拟（与计算数字和分析数据的功能正好相反）。荷兰德对 IBM 公司的合作耐心给予了很高的评价。他和他的同事们在计算机上耗费了无数个小时来模拟神经网络，甚至还由 IBM 公司出资去了趟蒙特利尔，向希伯本人咨询。

但到最后他们的模拟终于成功了。“出现了许多涌现现象。”荷兰德至今谈起这些来仍然很激动。“你可以从统一的神经元基质开始，然后看到细胞集合的形成。”1956 年，在这项研究工作的绝大部分结束几年之后，荷兰德、罗切斯特和他们的同事终于发表了该项研究成果。这是荷兰德发表的第一篇论文。

建设砖块

荷兰德说，现在回想起来，希伯的理论和他自己基于这个理论之上的神经网络模拟对他产生的最大影响，是形成了他后来三十年的思想，而不是在某一个方面使他受益。但当时，最直接的结果就是导致他离开了 IBM 公司。

问题在于，计算机模拟有一些确凿无疑的局限性，特别是 701 计算机。真正神经系统的细胞集合有一万个神经元分布在大脑的大部分区域，而每个神经元又有一万个突触。但荷兰德和他的伙伴们在 701 计算机上运行的最大规模的模拟神经网络也只能有一千个神经元，每个神经元只有十六个结合点，还是他们竭尽他们能够加速运转的所有编程技巧才达到这个速度的。荷兰德说：“越往下做我越

觉得我们真正能够进行试验的与我所想看到的结果之间的距离实在太大了。”

唯一的选择就是用数学方法来分析神经网络。“但这样做实在太困难了。”他的每项尝试都撞上了南墙。靠他在麻省理工学院学到的数学功底来全面展开希伯式的网络实在太不够了。而他还比大多数物理系毕业生多学了不少数学课程呢。

“当时对我来说，仿佛要想更多地了解神经网络，关键在于更好地掌握数学工具。”他说。所以在 1952 年秋季，他带着 IBM 公司的祝福和继续为 IBM 公司的宏伟蓝图做一百个小时顾问工作的允诺，来到安·阿泊，开始在密西根大学攻读数学博士学位。

他又一次成为幸运者。当然，不管在任何情况下密西根大学都不是个糟糕的选择。不仅是因为当时那里的数学系是全美国最好的数学系之一，而且还因为荷兰德还有一个主要的考虑：那儿有一个足球队。“在周末与十强进行足球比赛，有十万观众涌入城内来观战，对此我至今还觉得回味无穷。”

但对荷兰德来说，真正的好运是他在密西根大学碰到了阿瑟·勃克斯(Arthur Burks)这位非同寻常的哲学家。勃克斯是查尔斯·皮尔斯(Charles Peirce)实用主义哲学的专家，于 1941 年获得博士学位。由于当时在他的学科领域根本无法觅到一个教职，所以他在毕业后的第二年在宾州大学的摩尔学院又读了 10 周的课程，变成了一个战时工程师。后来证明了这是一个很好的选择。1943 年，他毕业不久就受雇于摩尔学院，从事属于最高机密的第一台电子计算机 ENIAC 的研究。在那里他遇到了传说中的人物、匈牙利数学家约翰·冯·诺意曼。当时冯诺曼作为顾问，经常从普林斯顿的高级研究所来这儿为这个项目工作。勃克斯在冯诺曼的指导下还参与了 ENIAC 的下一代计算机 EDVAC 的研制工作。这是第一台能运用程序这种电子化形式储存信息的计算机。确实，冯·诺意曼、勃克斯和数学家荷曼·哥斯廷(Herman Goldstine) 1946 年发表的论文，《电子计算仪器逻辑设计初探》，一直到今天仍然被认为是现代计算机科学的基石。在这篇论文中，这三位撰写人用精确的逻辑形式规定了编程的概念，同时还描述了一个普通功能的计算机如何通过从计算机记忆系统提取指示，然后再把结果存储到记忆系统这样一种不断循环的方式来执行程序。这个“冯·诺意曼式建筑设计”仍然是今天几乎所有计算机的基础。

当荷兰德五十年代中期在密西根大学遇见勃克斯的时候，勃克斯是一个身材

匀称、举止优雅的人，酷似荷兰德想象中的传教士的形象（迄今为止，勃克斯从来没有不打领带、不着外衣地出现在以不在乎穿着著称的密西根大学的校园里）。但勃克斯同时也是一个热情友善的良师益友，他很快就把荷兰德带入了他的计算机逻辑设计小组，这是一个理论学家的圈子，这个圈子的人致力于计算机语言研究和开关网络定理论证，总之是力图从最严格、最根本的层面上掌握计算机这个新机器。

勃克斯还邀请荷兰德加入了一个新的博士学位项目。这是一个致力于在尽可能广泛的领域里探索计算机和信息处理意义的项目，勃克斯本人正在帮助组织这个项目。这个很快就以通讯科学变得众所周知的项目到了 1967 年终于发展成了一个完整的计算机系，叫做计算机与通讯科学。但在当时，勃克斯感到他只是在为 1954 年死于癌症的冯·诺意曼填补空白。“冯·诺意曼希望把计算机应用在两个方面。”他说。一方面是一般性功能的计算机设计，这种功能的计算机他们已经发明了。“另一方面是基于自动机理论。自然和人工智能知识的计算机。”勃克斯同时还感到，研制这样一种程序会符合这些学生的需要，而荷兰德是其中杰出的一位，他的头脑拒绝随波逐流。

荷兰德喜欢上了他所听到的消息。“这就是说要开设生物学、语言学、心理学这类非常艰难的课程和信息理论这样的常规性课程。这些课程是由来自那一个学科领域的教授来上，这样学生们就能将所学知识和他们的计算机模型联系起来。通过学习这些课程，学生们就会非常深刻地理解这个领域的根本——其难点和问题，为什么这些问题如此难以解决，计算机在解决这些问题上能起到什么作用，等等。他们就不会对事物仅仅只是流于表面的了解。”

荷兰德喜欢这个主意更因为他已经对数学完全失去了兴趣。密西根大学数学系就像二次世界大战之后的所有数学组织一样，被法国波巴科学派（Bourbaki school）所控制，这个学派鼓吹数学非人的纯洁性和抽象性。按照波巴科的标准，就连阐述你的原理后面的概念、用实在的图式解释你的定理，也会被认为是粗俗不堪。荷兰德说：“这一派的理念就是要让人们知道数学是可以不用任何解释的。”但这完全不是荷兰德来这儿攻读博士学位的目的。他希望用数学来理解这个世界。

所以当勃克斯建议荷兰德转入通讯科学研究项目时，他毫不犹豫地同意了。

他放弃了他几近完成的数学博士论文，再次从头开始。“这意味着，我可以在一个与我希望从事的研究非常接近的领域做我的博士论文。”他说。这个领域，大致上说，就是神经网络（具有讽刺意味的是，他最终决定做的博士论文题目，“逻辑网中的循环”，是对网络开关内部情形的分析。在这篇论文中，他证明的许多定理，与四年以后柏克莱大学一位名叫斯图亚特·考夫曼的年轻的医学院学生独自努力证明的定理如出一辙）。荷兰德于1959年获得博士学位，这是通讯科学项目授予的第一个博士学位。

所有这些都未改变荷兰德对更为广泛的问题的关注，正是这种关注把荷兰德带到了密西根大学。恰好相反，勃克斯的通讯科学项目正好提供了一个能使这种问题滋生的环境。什么是涌现？什么是思考？思想是如何进行的？什么是思想的法则？一个系统的适应究竟意味着什么？荷兰德记下了对这些问题的一些思考，然后把它们系统地归类为 Glasperlenspiel 1 号、Glasperlenspiel 2 号、等等。

Glas 什么？“Das Glasperlenspiel”是赫尔曼·黑塞（Herman Hesse）的最后一本小说，出版于1943年，当时作者正流亡瑞士。一天荷兰德在同屋从图书馆借来的一堆书中发现了这本书。在德语中，书名的书面意义是“玻璃珠游戏”，但在英文译文中，这本书通常被称为“游戏高手”，在意大利译文中也是相同的意思。故事以很久以后的未来为背景，小说描述了一个起初是音乐家玩的游戏。这个游戏是先在玻璃珠算盘上设定一个主旋律，然后通过来回拨弄玻璃珠，把这个主旋律的所有多声部和变奏编在一起。随着时间的延续，这个游戏从最初简单的旋律演变成一种极其复杂的乐器，被一群权力强大的牧师知识分子所控制。“最妙的是你能够获得主旋律的组合。”荷兰德说。“有一点儿星相学、有一点儿中国历史、还有一点儿数学。然后力图把它们发展成一种音乐主旋律。”

他说，当然，黑塞并没有十分清晰地说明这些究竟是怎么弄出来的。但荷兰德并不介意这一点。玻璃珠游戏比他所看见和听到过的任何事物都能抓住他的心，就像国际象棋、科学、计算机和大脑一样令他着迷。形象地说，这个游戏正是他一生的追求：“我就是希望能够抓住世界万物的主旋律，然后把它们揉合在一起，看它们会发生什么情况。”他说。

存储在 Glasperlenspiel 档案库中的思想的一个特别丰富的源泉是另一本

书。有一天荷兰德在数学系图书馆浏览群书时，发现了费舍尔(R. A. Fisher) 1929年出版的里程碑式的巨著《自然选择之基因理论》。

起初荷兰德为之着迷。“从中学时代起我就一直很喜欢阅读基因和进化方面的书，”他说。每一代人都会重组父母遗传的基因，他对这个思想非常赞赏。你可以计算像蓝眼睛、黑头发这样的特性出现在下一代身上有多么经常。“我总是想，哇，这个计算真是干净利落。但读了费舍尔的书后我第一次认识到，在这个领域里，除了用平常的代数学以外还可以尝试别的东西。”确实，费舍尔就用了许多更加复杂的概念，从微分、积分到概率理论。他的书用真正严谨细致的数学方法对自然选择如何改变了基因分布做了分析。对生物学家来说，这样的书是第一本。这同时也给当代“新达尔文”的进化理论奠定了基石。二十五年之后，这一理论仍然代表了进化动力学理论的最高标准。

所以荷兰德一口气读完了这本书。“我可以把我在数学课上学的积分、微分方程和其他方法都用于动力基因学的这场革命了。这真是一本令人大开眼界的书。我一读到这本书就知道，我不会放过这书里的思想。我知道我必须用这本书里的思想做点什么，我脑子里一直转着这些想法，不断地做着笔记。”

但尽管荷兰德非常崇拜费舍尔的数学，但费舍尔运用数学的某种方法却使他感到困惑。而且他越是深思，越是感到困惑。

首先，费舍尔对自然选择的整个分析着重于一次一个基因的进化，仿佛每一个单个基因对生物体生存的作用是可以完全脱离其他基因而独立存在的。大致地说，费舍尔假设基因的行动完全是线性的。“我知道这肯定是错的。”荷兰德说。对绿眼睛来说，没有几十个、或几百个基因形成绿眼睛的特别结构，单个的绿眼睛基因是微不足道的。荷兰德认识到，每一个基因必须作为一部分才能发挥作用。任何理论如果不把这个事实包括进去，就缺少了进化这个故事中最关键的一部分。对这个问题的思考，正是希伯在精神领域研究中一直强调的。从思想的最基本的单位这一点来说，希伯的细胞集合有点儿像基因。一种声调、一束光线、一簇肌肉的抽动，所有这些能具有意义的唯一方式是把彼此组合成更大的概念和更复杂的行为。

另外，费舍尔一直在谈论进化能达到稳定的均衡，这也使荷兰德感到不解。在这种稳定的均衡状态中，物种的大小达到了理想化、牙齿的锐利程度达到了理

想化、生存和繁衍能力也达到了理想化。费舍尔的观点和经济学家们的经济均衡的定义基本上是一致的：他说，当一个物种的状况达到了最佳程度之后，任何变化都会降低这种最佳化程度。所以自然选择就无法对变化形成进一步的压力。“费舍尔理论中的大部分内容在强调这样一种观点：‘好吧，由于下述进程，这个系统会走入哈迪—温伯格（Hardy—Weinberg）的均衡状态……’但这在我听起来不像是进化论。”

他又重读了达尔文和赫伯。不，费舍尔关于均衡的概念与进化论毫不相干。费舍尔似乎在谈论某种原始而永恒的完美境界的实现。“但在达尔文那里，事物随着时间的推移越变越宽广，越变越多样化。但费舍尔的数学并不触及这一点。而赫伯说的是学习，不是进化，其道理却是同样的：人的头脑随着不断从外界吸取经验，越变越丰富、越变越灵巧、越变越令人惊异。”

对荷兰德来说，进化和学习似乎与游戏非常相似。他认为，在这两种情况中，都有一个作用者在与自己的环境对抗，为自己的继续发展争取足够的条件。在进化中，所获报酬就是生存，一个让作用者将基因遗传给下一代的机会。在学习过程中，所获是某种奖赏，比如食物、愉悦的感觉或情感的满足。在这两种情况下，所获（或所缺）都是给予作用者的一种反馈，以利于它们改进自我表现：如果作用者想获得使自己“适应”的能力，就不得不采取能够获得丰厚报酬的策略，放弃其它策略。

荷兰德不禁想起塞缪尔的跳棋下法程序，这个程序正是利用了这种反馈：它可以随着不断吸取经验和更多地了解对方而经常改变战术。但现在荷兰德开始认识到塞缪尔将注意力放在游戏上是多么具有先见之明了。游戏的这一相似性似乎可以解释任何适应性系统。在经济中，所获是金钱，在政治中，所获是选票，等等。在某种程度上，所有这些适应性系统在根本上都是一样的，这反过来又意味着，所有这些系统从根本上就像下跳棋或象棋一样：可能性的空间大得难以想象。一个作用者不断改进下棋技术，这便是适应。但要想寻找到这场游戏的最佳化和稳定的均衡点，就好比下国际象棋一样，你根本就无法穷尽其无限的可能性。

毫不奇怪，对荷兰德来说，“均衡”并不是进化，甚至不像是他们三个十四岁的男孩一起在地下室玩的那种战争游戏。均衡意味着结束。但对荷兰德来说，进化的实质是旅程，是无穷无尽地展现出来的惊异。“我越来越清楚地认识到，

我所想了解、所好奇、所为之发现而欢欣鼓舞的是什么。均衡并非其中的一部分。”

荷兰德在撰写博士论文的时候，暂时把这些想法搁置一旁。但 1959 年他刚刚毕业——那时勃克斯已经邀请他继续留在计算机逻辑小组做博士后——就决定将自己的这些想法变为完整而严谨的适应性理论。他说：“我相信如果我将基因的适应性当作最长久的适应性来观察，把神经系统当作最短期的适应性来观察，那么，这两者之间的总体性理论框架将是相同的。”为了将他脑子里的这些初步想法陈述清楚，他甚至就这个研究课题写了一个宣言，这份他于 1961 年 7 月发表的长达四十八页的技术报告的题目是：《适应性系统逻辑理论之非正式描述》。

他在计算机逻辑小组发现了许多紧皱的眉头。但这并不是一种敌意，而是有些人认为他的这个一般性的适应性理论听起来太稀奇古怪了。难道荷兰德不能把时间花在更富有成果的研究上？

“但问题在于，这是一个古怪的想法吗？”荷兰德回忆此事时愉快地承认，如果他在他同事的位置上，他也会对此持怀疑态度。“我所从事的研究不属于既完善又为人熟知的学科范畴。它既不能算硬件，也不能算软件。而那时它当然也不属于人工智能。所以无法用任何常规标准来对它做出判断。”

勃克斯却并不需要他来说服。“我支持荷兰德，”勃克斯说。“有一些逻辑学家们认为荷兰德的研究并不属于‘计算机逻辑’范畴之内。他们的思想更为传统，但我告诉他们，这正是我们需要做的，为这个项目争取经费的重要性和其他项目等同。”结果勃克斯赢了：作为这个项目的创始人和带头人，他的话有相当大的分量。渐渐地，对荷兰德研究的怀疑消失了。1964 年，在勃克斯的大力推荐下，荷兰德获得了终身教职。他说：“那些年，在很大程度上我全靠勃克斯为我做挡箭牌。”

确实，勃克斯的支持所给予荷兰德的安全感使他能够力争获取适应性理论的研究成果。到 1962 年，他放下了他的所有其它研究项目，基本上全力投入了对适应性理论的研究。特别是他下决心解决基于多基因的选择的难题——这不仅仅是因为费舍尔在书中对单体基因的假设最使他感到困惑，同时也是因为对多基因的研究也是摆脱均衡的困惑的关键。

荷兰德说,公平地评价费舍尔,均衡的概念就每个单独的基因而言不无意义。比如,假设某个物种有一千个基因,大致上与海藻一样复杂。为了使事情简单明了,再假定每个基因只含有两种信息,绿色的或棕色的,叶片皱折的或叶片平滑的,等等。自然选择要经过多少次尝试才能发现使海藻发展到最强壮的那组基因搭配呢?

荷兰德说,如果假设所有基因都是相互独立的,那么,你只需要两次选择就能确定哪种基因信息更好。这就需要对一千个基因各做两次尝试,总共两千次,这不算太多。事实上,相对而言这个数目实在是太小了,如果是这样的话,海藻很快就会达到最强健的状况,而物种确实就能达到进化的均衡点。

但当我们假设基因并不是相互独立的,让我们来看看含有一千个基因的海藻会发生什么样的情形。如果是为达到最强壮状态,自然选择就会检验每一个可能的基因组合。因为每个基因组合都有其不同的强健性。当你计算基因组合的总数,就不是二乘以一千,而是二自乘一千次了,即二的一千次方,或大约为十的三百次方——这个数目大得甚至使跳棋的步数都显得微不足道。荷兰德说:“进化甚至根本就不可能做这么多次数数的尝试。而且无论我们把计算机发展到多先进也做不到。”确实,就算在可观察到的宇宙中所有的基本粒子都变成超级计算机,从大爆炸就开始不停地运算,也远不能完成运算。另外必须记住,这还只是就海藻而言。人类和其它哺乳类动物含有的基因数大概是海藻含有基因数的一百倍,而且大多数基因都含有不止两条信息。

所以再次出现了这种情形:这是一个向着无穷无尽的可能性的空间探索的系统,不存在哪怕为一个基因找到“最佳”点的现实希望。进化所能达到的是不断改进,而绝非尽善尽美。但这当然正是他 1962 年就已经决意要找到回答的问题。但如何寻找答案呢?了解多种基因进化的问题显然不只是用多变量方程式来替代费舍尔的单一变量方程式这么简单的事。荷兰德想知道的是,进化是怎样于无穷无尽的可能性的探索中找到有用的基因组合,而不需要搜遍整个领域。

当时,相似的“可能性爆炸”概念已经为主流人工智能研究人员所熟知。比如,在匹兹堡卡内基理工学院(即现在的卡内基麦伦大学),爱伦·纽威尔(Allen Newell)和赫伯特·西蒙(Herbert Simon)自五十年代中期开始就在进行一项里程碑式的研究,即,研究人类如何解决问题。纽威尔和西蒙让被试验对象猜各

种谜语和玩各种游戏，包括下国际象棋，并让被实验对象陈述在这个过程中自己的思想。他们通过这种方法发现，人类解决问题总是会涉及脑力对广阔的可能性“问题空间”的逐步搜索，而每一步都以实际经验为导向：“如果情况是这样的话，那么就该采取那个步骤。”纽威尔和西蒙通过将他们的理论编入“一般问题解决法”(General Problem Solver)程序和将这个程序应用于解那些谜语和游戏，表明“问题—空间”角度能够出色地反映人类的推理风格。确实，他们的经验性检索概念早已成为人工智能领域的金科玉律。一般问题解决法至今仍然是新兴的人工智能发展史上最有影响的程序之一。

但荷兰德仍然对此半信半疑。这并不是因为他认为纽威尔和西蒙对问题空间和经验导向的概念有什么错误。事实上，他取得博士学位不久就特意邀请他们两位来密西根大学讲授人工智能的主课。从此他和纽威尔成了朋友和知识上的伙伴。但纽威尔—西蒙的理论不能在生物进化研究上有助于他。进化论的整个概念中没有任何经验可循，也没有任何导向。一代代的物种是通过突变和两性基因的随机重组，简言之，是通过尝试和错误，探索于可能性的空间。而且，这一代代物种并不采取逐步逐步的方式搜索于基因组合的可能性之中，而是采取齐头并进的搜索方式：物群中的每一个成员的基因组合都略有不同，所搜索的空间也略有不同。但尽管有这些不同之处，尽管进化的时间更为长久，但它所产生的创意和奇迹恰如脑力活动。对荷兰德本说，这意味着，适应性的真正的统一规律隐藏在更深的层次之中。但到底隐藏在哪儿呢？

起初，只有直觉告诉他，某些基因组之间能够很好地相互作用，形成统一而自我强化的整体。比如像能够告诉细胞如何从葡萄糖分子里吸取能量的基因群，或能够控制细胞分裂的基因群，或能够指导细胞如何与其它细胞组合成某种生理组织的基因群。荷兰德也能从希伯的大脑理论中看到某种相似之处。在这个理论中，一组相互共鸣的细胞集合能够形成一个统一的概念，比如“汽车”，或者一个像举起胳膊这样协调的动作。

但是，荷兰德越是思考统一而自我加强的基因群这个概念，整桩事就越显得微妙。首先，到处都有类似的例子，比如计算机程序中的子程序、官僚体系中的部门。以及国际象棋棋局中的布棋法。而且，这样的例子存在于组织的每一层。如果一个基因群有足够的统一性和稳定性，那么这个基因群通常就可以作为更大

的基因群的建设砖块。细胞的结合形成生理组织、生理组织的结合形成器官、器官的组合形成生物体、生物体的组合形成生态系统，等等。荷兰德想，确实，这就是“涌现”的全部意义：一个层次上的建设砖块组合成更高层次上的建设砖块。这似乎这个世界最根本的规律之一。这一规律当然也表现在所有复杂的适应性系统之中。

但为什么会是这样的呢？事物的这个等级分明的。建设砖块结构的特性就像空气一样司空见惯。它因无所不在而被我们视而不见。但当你认真思考这个问题时，就会发现它急需解释：为什么这个世界会形成这种结构呢？

其实对此已有许多解释。计算机程序员们会把问题分解成许多子程序，因为较小、较简单的问题比较大、较繁杂的问题易于解开。这就是分而治之的古老法则。鲸鱼和红杉这样的庞然大物是由无数个微小的细胞组成的，因为总是先要有细胞，才可能形成庞然大物。当五亿七千万年前巨大的动植物开始出现在地球上时，对自然选择法来说，较之于从一片混乱无序中重新开始形成大团新的原生质，显然不如将现存的单一细胞形成生物体要容易得多。通用汽车公司将自己分为无数个部门和子部门，是因为通用汽车公司的主管不希望公司的五十万名雇员都直接来向他报告。他一天根本没这么多的时间。事实上，在四十年代和五十年代，西蒙在他的商业组织的研究中就已经指出过，设计优良的等级制度是在避免让任何一个人疲于应付会议和备忘录的前提下实施实际工作的最佳方式。

但当荷兰德思考这个问题时，他越来越觉得，更为重要的理由还基于更深的层次，因为这个等级分明的建设砖块结构能够彻底改变系统的学习、进化和适应能力。想一下我们的认知建设砖块，这包含了像红色、汽车和道路这类的概念。一旦这组类别的建设砖块随着经验的积累而被扭转、精炼和调整，那么，这组概念就会被整个改编和重组成许多新的概念，比如像“路边的一辆红色 Saab 轿车”。当然，较之完全从头开始，这是一个有效得多的创新的途径，而这反过来又在总体上意味着适应性的一个全新的机制。适应性系统能够重组它的建设砖块，从而产生巨大的飞跃，而不需要总是要逐步逐步地在可能性的无限空间中缓慢进展。

在这个方面，荷兰德最喜欢举的例子是计算机出现之前警方根据目击者的描述来绘出嫌疑犯的画像的办法，即，把嫌疑犯的面孔分为十个基本区域：发际线、前额、眼睛、鼻子，一直到下颚。然后绘像师在许多纸片上对各个部位做不同形

状的绘画，比如说，十种鼻子、十种发际线、等等。这加起来就是一百张纸的给像。有了这些之后，绘像师就可以通过目击者的描述，把合适的部分凑在一起，很快得出嫌疑犯的肖像图。当然，绘像师无法用这种方法画出所有可能想象出来的面孔。但他或她总是能够得到近似的肖像：绘像师通过重组这一百张纸片可以得出一百亿张不同的面孔，足够从广大的可能性空间中找到相似的相貌。“所以如果我能够发现形成建设砖块的过程，这些组合就能为我所用，而不会成为我的障碍。我就能用相对少的建设砖块描述出许许多多的复杂事物。”

他认识到，这就是解开多基因之谜的关键之所在。“进化过程中的放弃和尝试并不只是为形成一个优良的动物，而是在于发现优良的建设砖块，并将这些建设砖块结合在一起，从而产生许多优良的动物。”他现在面临的挑战是要精确而严谨地表明这一切是如何发生的。他决定，第一步是要做一个计算机模拟，一个既能够陈述过程、又能够帮助他澄清脑子里的问题的“基因算法”。

密西根大学计算机科学圈子里的人都看惯了荷兰德拿着折扇状的计算机打印结果跑过来。

“看看这个！”他会急煎煎地指着一张整页都是密密麻麻的十六进位的数据符号的纸说。

“哦，CCB1095E。太棒了，约翰。”

“不！不！你知道这是什么意思吗！？ ”

事实上，在六十年代初，有相当多的人并不知道，也想不出那些数据表示什么意思。对荷兰德持怀疑态度的同事们对于荷兰德所从事的研究的怀疑，至少在一点是对的：荷兰德最终推出的基因算法是个稀奇古怪的东西。除非从最为书面的意义而论。否则这根本不能算是计算机程序。就它的内部机制而言，它更像是一个模拟生态系统，其中所有的程序都可以相互竞争、相互交配、一代接一代地繁衍，一直朝着程序员设置的任何问题的解答方向不断演化。

说得轻一点，这不是程序的通常编写法。所以荷兰德发现，要向同事们解释为什么这具有意义，最好用非常实际的语言来告诉他们他正在做什么。他通常会告诉他们，我们把计算机编程当作一个由 FORTRAN 或 LISP 这样的特殊编程语言写成的一系列指令。确实，编程的全部技艺就在于确保准确无误地按照正确的指示和顺序来编写程序。这显然是编程的最有效的方法——如果你早就知道你想让

计算机干什么的话。但假设你并不知道你想让计算机干什么，比如假设你想找到某种复杂的数学功能的最大价值。功能可以表示利润、或工厂的产量。或任何其它东西。这个世界到处都有希望价值被最大化的东西。确实，计算机程序员已经为此设计出先进的计算机算法来了。但即使是其中最优秀的算法都无法保证在任何情况下都能提供正确的最大化价值。在某种层次上，这些算法总是不得不依赖传统的尝试 / 错误法，也就是猜测法。

荷兰德对他的同事们说，如果情况真是这样的话，如果你反正总是要依赖尝试 / 错误法的话，也许就值得试试利用大自然的尝试 / 错误法则，也就是自然选择法。与其编一个程序来执行你自己都不知道该如何定义的任务，还不如让它们通过进化自然产生。

基因算法便是这样的一个方法。荷兰德说，如果想看它怎样发生作用，那就忘记 FORTRAN 编码，深入到计算机的内核里去。计算机程序在计算机上是以一系列 1 或 0 的二进制来表示的：11010011110001100100010100111011……在这种形式下，计算机程序看上去像是一大片染色体。每一个二进制数字都是一个单独的“基因”。一旦你用生物学眼光来思考二进制编码，你就可以用类似的生物方法使之进化。

荷兰德说，首先，让计算机产生一群数量约为 100 个数字的染色体，其中包含大量的随机变量。假设每一个染色体都相对应一群斑马中的一匹（这是为使事情简化之故。因为荷兰德试图把握进化的最基本的本质，所以在基因算法中舍弃了诸如马蹄、胃和脑这样的细节，而把个体当作单个的纯 DNA 来模拟。而且，为了使之更便于操作，他把二进制的染色体限制在长度不超过几十个二进制数字之内，所以这些染色体实际上并不是完整的程序，而只是程序的片断。事实上，在他最初的实验中，这些染色体只代表单一的变量。但这并不能改编这个算法的基本原则）。

第二，把现有的问题当作每一单个的染色体，把问题当作计算机程序来运作，用这种方法来进行测试。然后，评价它的运行好坏，给它打个分。从生物学的角度来看，这个分数将评判出个体的“强健”程度，也就是它繁殖成功的概率。个体的强健程度越高，被基因算法选择出来，得以将自己的基因遗传给下一代的机会就越大。

第三,将你所选择的个体当作具有足够繁殖能力的染色体,使它们相互交配,从而繁衍新一代。让剩余的染色体自行消亡。当然,在实际操作时,基因算法舍弃了两性的差异、求偶礼仪、性爱动作、精子和卵子的结合,以及两性繁衍的所有复杂细节,而只是通过赤裸裸的基因材料的交换繁衍下一代。如果用图解来表示的话,基因算法选择了有ABCDEFG的染色体和有abcdefg染色体的一对个体,随意在中间切断它们的染色体序列,然后将双方染色体相互交换,形成对它们的一对后代的染色体:ABCDefg和abCdEFG(真正的染色体经常会发生这种交换,或交叉,荷兰德从中得到启发)。

最后,通过这种基因交换繁衍出来的下一代之间又会继续相互竞争,同时在新的一代的循环中,与它们的父母也发生竞争。这无论是对基因算法来说,还是对达尔文的自然选择法来说,都是最关键的一环。没有两性之间的基因交换,新一代就会完全像他们的父母一样,物种的发展就会进入停滞状态。低劣的物种会自然消亡,但优良的物种也决不会发生任何改良。但有了两性之间的基因交换,新一代就会相似于它们的父母,但又有所不同,有时会比它们的父母强些。当发生这种情形的时候,被改良的物种就会获得普及的大好机会,从而显著地改良自己所属的整个物种群。自然选择法提供了一种向上进取的机制。

当然,在真正的生物体中,相当大一部分的变量是由于突变、遗传密码的排版错误所致。事实上,基因算法确实也允许通过故意将1改变为0,或把0改为1而产生一些偶然的突变。但对荷兰德来说,基因算法的核心是两性交换。不仅仅是因为两性的基因交换给物种提供了变量,而且这同时也是一个极好的机制,通过这个机制可以寻索到能够相互密切配合,产生高于一般水平的强健的基因群,也就是建设砖块。

比如,你将基因算法用于解其中一个最佳化的问题。这是个为某种复杂功能寻找最大价值的方式的问题。假设当基因算法的内在数群中的数字染色体达到二进制基因的某种模型时,比如像11####11#10####10,或##1001####11101##,获得了很高的分数(荷兰德用#来表示“没有关系”。数字处于这个位置可以是0,也可以是1)。他说,这种模型就具有建设砖块的功能。也许它们凑巧表示的是变量的范围,在这些范围中,其功能确实具有超常的高价值。但不管是什么原因,含有这种建设砖块的染色体都会繁荣发展,并普及于整个物种,

从而取代那些不含有这类建设砖块的染色体。

另外，既然两性繁衍使数字染色体能够在每一代都重组它们的基因材料，那么物种就会经常产生新的建设砖块和现有建设砖块的新组合，这样基因算法就会很快产生具有双倍和三倍优势的建设砖块。而如果这些建设砖块的组合又产生出更大的优势，那么具有这些优秀建设砖块的个体特色就会比以往更快地普及于整个物种。结果就是，这个基因算法会很快指向现有问题的答案，即使事先并不知道从哪儿寻找答案。

荷兰德记得当他在六十年代初刚发现这一点时感到非常激动。但他的听众却从未为此而欢欣鼓舞。那时候，在尚属新兴的计算机科学领域里，大多数计算机科学家都感到，在常规性编程方面尚有大量的基础研究要做。从纯粹实际的角度来说，演化一个程序的概念显得不着边际。但荷兰德不在乎这些。这正是他自决心要发展费舍尔的独立基因假设以来一直苦苦探索所获得的成果。繁殖和交叉为基因的建设砖块提供了涌现和共同演化的机制，同时又是物种个体高效率地探索于可能性空间的机制。事实上，到六十年代中期，荷兰德已经证明了基因算法的基本定理，他称其为图解定理：在繁衍、交叉和突变之中，几乎所有具有超常强健性的紧密基因群都能够在物种中成指数比例地发展。（荷兰德所说的“图解”，是指任何特定的基因模型。）

他说：“当我最终将图示定理发展到令我满意的地步后，我才开始着手写书。”

精神的涌现

荷兰德原来以为能够在一两年内完成一本书，一本关于图解定理、基因算法、以及他对适应性的总的思考的汇编。但事实上，这本书的出版耗费了他十年的时间。他的撰写和研究一直是齐头并进，他不断有新的想法需要探索，或理论上有新的方面需要分析。他指派他指导下的好几个研究生去做计算机实验，也就是证实基因算法是否真正有用、是否是一个解决最优化问题的有效办法。荷兰德觉得他这是同时在提出和实践他的适应性理论，他希望做得准确无误，既深入细致、又精确严谨。

他无疑做到了这一点。1975 年出版的《自然和人工系统中的适应性》一书罗列了大量的方程式和分析。该书总结了荷兰德二十年来对学习、进化和创造性之间深刻的内在关联的思考，对基因算法做了周密的陈述。

荷兰德的研究成果并没有在密西根大学之外更广泛的计算机科学世界里引起任何反响。对那些喜欢优雅、简明和被证明是正确的算法的人来说，荷兰德的基因算法太离奇古怪了。人工智能圈子对荷兰德的基因算法研究反应较为热烈。在这个圈子里，他的书的年销量可达一百至二百本。但即使如此，即使对他的书偶有评论，最多不过是“约翰是个极聪明的人，但……”这类话。

当然，荷兰德并没有力陈他的观点。他只发表了一些论文，相对而言他发表的论文很少，只是在有人邀请他时才去作演讲，仅此而已。他并没有在重大的学术会议上大肆渲染基因算法，没有将基因算法用于医学诊断这类能够争取到研究资金、吸引注意力的热门应用领域，没有去争取巨额投资来创建基因算法“实验室”，也没有出版一本畅销书来呼吁为对付日本的威胁，采用基因算法来调配联邦基金已迫在眉睫。

总之，他根本就没有玩那套学术界自我推销的把戏，这似乎不是他喜欢玩的游戏。更确切地说，他并不真的介意他是赢是输。打个比喻，他仍然情愿和他的小伙伴们一起混在地下室里做游戏。荷兰德说：“这就好比是打棒球，只不过你参加了非主力队，而没有参加主力队。但重要的是打棒球的乐趣，而不是参加哪个队。我所从事的科学对我而言总是其乐无穷的。”

“我觉得如果没人愿意听我说，会使我很烦恼。但我总是非常幸运，总是有既聪明、又对我的研究课题兴致勃勃的研究生与我产生思想上的共鸣。”

这确实从一个侧面反应了他和少年伙伴在地下室做游戏的态度：在密西根大学，荷兰德将极大的精力放在了和他最直接的圈子里的伙伴共同工作之上了。尤其是在任何时候他手下都有六七个研究生，远远超过通常导师指导研究生的数额。事实上，从六十年代中期开始，他所指导的研究生每年都有不止一个人获得博士学位。

“他们中有些人确实绝顶聪明，与他们相处给我带来了很大的乐趣。”他说。荷兰德看到有太多教授累计了长长的论文名单，其实这些论文都是他们和他们所指导的研究生共同研究的成果，甚至完全是由他们的学生写的。所以他故意用相

当放手的方式对研究生进行指导。“他们都按照自己的想法进行研究，做他们自己感兴趣的事。然后我们所有的人每周一次围聚在桌旁，其中有一个人就会告诉大家他的论文已经进行到什么程度了，我们大家就会就此展开批评和讨论。这对所有介入者来说都充满了乐趣。”

七十年代中期，荷兰德和学部里一群志同道合的同事开始了每周一次的自由讨论，讨论任何有关进化和适应性的问题。这群人里除了有勃克斯之外，还有政治科学家罗伯特·爱克思罗德 (Robert Axelrod)。罗伯特力图想理解人们为什么和什么时候会相互合作，而不再相互在背后捅刀子。另外还有专攻人类组织的社会动力学的政治科学家米歇尔·考亨 (Michael Cohen) 和威廉·汉密尔顿 (William Hamilton)。威廉是一位进化生物学家，和爱克思罗德一起研究共生、社会行为和其他形式的生物合作。

“麦克·科恩 (Mike Cohen) 是个中介人。”荷兰德回忆说。在他的适应性一书刚出版不久，科恩来旁听他的课。有一天课后他走过来对荷兰德介绍自己，并说：“你真应该去和爱克思罗德谈谈。”荷兰德就照做了。通过爱克思罗德，他又结识了汉密尔顿。很快，BACH 小组的人，勃克斯、爱克思罗德、科恩、汉密尔顿就携手联合了。(BACH 是由他们四个人名字的头一个字母组成。他们几乎经常一起工作。在小组成立伊始，他们就想把斯图尔特·考夫曼网罗进来，但考夫曼去了宾州大学。)“把我们联系在一起的是我们都有很强的数学背景，都强烈地感觉到进化和适应性问题比任何一个单一的问题都涉猎广泛。我们开始定期聚会：某个人会读到一篇文章，然后大家一起讨论，激发了许多探索性思考。”荷兰德说。

对荷兰德来说尤为如此。他已经完成了适应性一书，但他与 BACH 小组成员的讨论却涉及到书中未及涉猎、留待研究的地方。基因算法和图解定理紧紧抓住了进化的本质问题，对此他深信不疑。但即便如此，他仍然不免要遗憾，基因算法对进化的赤裸裸的解释毕竟过于简单了。他的理论把“生物体”直接当作由程序员设计出来的单纯的 DNA，这样的理论一定存在缺憾。它对于在复杂环境中复杂的生物体的进化能向我们说明什么呢？什么也不能说明。基因算法相当不错，但仅仅是基因算法本身，并非包括适应性作用者。

从这个意义上来说，基因算法也不算是对人类精神适应性的模仿。因为它在

计算上太生物化了，无法由此看到复杂的概念是如何在人类头脑中产生、进化和重新组合的。对荷兰德来说，这一事实使他越来越感到沮丧。从他初次听到赫伯的概念至今已有二十五年了，但他仍然坚信，精神的适应性和大自然中的适应性只不过是同类事物的两个不同的方面。而且，他仍然相信，如果它们真是同样的事情的话，它们就可以由一个同样的理论描述出来。

所以，从七十年代后期起，荷兰德就开始了对该理论的研究。

从根本上来说，一个适应性作用者经常是在和它所处的环境做游戏。而这又确切地意味着什么呢？如果剥离到本质，这对游戏的作用者的生存和发展来说，究竟会发生什么？

荷兰德认为会发生两件事：预测和反馈。这是他在 IBM 公司工作时他和塞缪尔谈及跳棋时洞察到的。预测正如其词意所示：想于事先。荷兰德仍然记得塞缪尔一再重复这一点。“玩好一局跳棋或象棋的本质就是将宝押在不那么明显的布局上。”也就是走出的棋路要能够使你在后来处于有利的地位。预测能够助使你抓住机会或避免堕入陷阱。一个能够想于事先的作用者显然比不能想于事先的作用者要更具有优势。

但预测的概念简直就像建设砖块的概念一样微妙。比如说，我们通常将预测当作人类有意识的、基于对世界的大致模拟之上的思考。当然有许多这类通过模拟做出的预测。超级计算机对气候的模拟就是一个例子，某公司开始一项商业计划又是一例，美国联邦储备局所做的经济规划也是一例，就连英格兰的巨石柱也是一个模拟的模型：巨石的环绕设计能让占卜牧师像用一个粗糙但有效的计算机一样来预测春分和秋分的来临。而且，各种各样模拟的模型经常就在我们的头脑里。逛商店的人极力想象新沙发摆在自家客厅里的情形，或一个胆小的雇员力图想象冒犯老板的后果。我们经常在使用这些“脑内模型”。事实上，许多心理学家都相信，有意识的思维都是基于“脑内模型”的思维。

但对荷兰德来说，预测和模拟模型的概念实际上要比有意识的思维深奥得多。从这点来说，也远比大脑的存在要深奥得多。他宣称：“所有复杂的适应性系统——经济、精神、生物体等，都能建立能让自己预测世界的模型。”就连细菌也如此。很多细菌都有特殊的诱导酶系统，这种诱导酶使它们游向葡萄糖浓度更强的方向。毫无疑问，这些诱导酶模拟了细菌世界的一个关键的方面：化学物

质总是从源头向外扩散，随着离源头越来越远而浓度越来越小。诱导酶自然而然地就把这样一个明确的预测编入了基因码：如果你向浓度较高的方向游去，就可能找到有营养的东西。“这不是有意形成的模式，”荷兰德说。“但遵循这个模式的生物要比不遵循这个模式的生物更具优势。”

荷兰德说，这对美洲繁色瑞蝴蝶(viceroy butterfly)也同样。这种蝴蝶是有着醒目的橘黄色和黑色的昆虫。如果鸟类尝过它的味道的话，无疑会对它垂涎三尺。但鸟类很少捕食这种蝴蝶，因为它们的翅膀的花纹演变得很像所有幼鸟都避之不及的味道难吃的王蝶(monarch butterfly)。因此就发生了这样的情况：繁色瑞蝴蝶的DNA上编码了一个模型，这个模型模拟的世界中有鸟类、有王蝶、以及王蝶味道难吃。每天繁色瑞蝴蝶在花丛中飞来飞去，无疑是在拿自己的生命做赌注，打赌它假设自己对外部世界的模拟是对的。

你还会在各种不同的生物体中发现同样的道理。荷兰德说，就拿公司来说，设想一个工厂接受一个常规定单，比如说，一万件小器具。既然这是一个常规定单，工厂职员也许就不会多想。他们只是遵循“常规的运行程序”，即一系列正式规程，来进行生产。“如果情况是ABC，那就采取XYZ行动。”就像细菌和繁色瑞蝴蝶一样。这些规程中编入了这个工厂所模拟的世界和对这个世界的预测：“如果在ABC情况下，采取XYZ行动就会产生很好的效果。”按这些规程进行生产的职员们也许知道、也许不知道有这样模拟的模型的存在。毕竟常规操作程序经常是死搬照抄学来的，没有那么多为什么可问。如果这家工厂经营已有年头了，那可能没人会记得为什么事情必须这么做。但不管怎么样，因为常规的操作程序是由集体来发展和执行的，所以整个工厂的行为就会像是完全理解这个模拟模型似的。

荷兰德说，在认知领域，任何我们称为“技术”或“专业知识”的，都是一种内含的模型，或说得更精确些，是一组长期经验积累和凝练而成的，即铭刻在神经系统的巨大而相互环扣的常规操作程序。让一位有经验的物理教师看课本练习题，他不会像个新手似的把时间浪费在抄录眼所能及的所有公式。他脑中的程序总是会立刻就告诉他解题的方案：“啊哈，这是一道能量题。”发个球给网球名将艾芙特，她不会浪费任何时间争辩这球该怎么接，她头脑中的程序会立刻就让她本能地回手接球，打你个无从招架。

荷兰德喜欢在谈到内含的专业知识时举中世纪创建了哥特式大教堂的建筑师的技术为例。他们当时无法计算强度和承载力，或任何一个现代建筑师能够计算的事。十二世纪没有当代物理学和结构分析。那些中世纪建筑师建造那些高耸的拱形天花板和巨大的扶壁，靠的是师徒相传的标准操作程序，是实际经验给了他们哪种结构能够支撑、哪种结构会坍塌的常识。在他们那里，物理学的模型完全是内含的和直觉的。然而这些中世纪的工匠们发明的建筑结构一千多年后仍然耸立于世。

荷兰德说，这样的例子不尽其数。DNA 本身就是一个内含的模型，基因说：“在这种条件下，我们期望我们特意选中的生物能有机会得到很好的发展。”人类文化是一个内含的模型，丰富而复杂的神话故事和象征隐含着人们对他们所处的世界的信念和对他们的行为规则的正确性的信念。就这点而言，塞缪尔的计算机跳棋手也包含了内在的模式，随着它对对方下棋风格越来越熟悉，它会不断改变对各种棋路选择赋予的期望值，从而形成自己内在的模式。

确实，模式和预测随处可见。但模式从何而来？所有自然的或人工的系统是如何对这个宇宙形成足够的了解，从而对将来的事件做出预测的呢？他说，光是谈论“意识”没有用。大多数模型显然并没有意识：比如寻找营养的细菌，它甚至都没有大脑。谈论意识在任何情况下也是个用未经证明的假定来做的辩论。意识又是从哪里来的？是谁设计了编程员的程序？

荷兰德说，最终的答案只能是“没人操纵这一切。”因为如果真由一个程序员潜伏在幕后，就像“有鬼魂附于机器”，那么你等于什么都没有解释。你只是把这团谜推到别的地方去了。但幸运的是，还有一个选择：从环境而来的反馈，这是达尔文的伟大洞见。一个作用者能够改善自己的内在模式，并不需要任何超自然的指引。它只是不断测试自己的模型，看看这些模型对真实世界的预测有多么准确。如果它能够在实践中存活下来，它就调整自己的这些模型，以使自己下次做得更好。当然，在生物学上，作用者是独个的生物体，反馈是由自然选择提供的，模型的不断改良被称为进化。在认知学上，这个过程基本上是一样的：作用者是独立的心智，反馈自老师和直接经验而来，改善被称为学习。确实，这正是塞缪尔电脑跳棋手的运作机制。不管就生物学而言还是就认知学而言，一个适应性作用者都必须利用这个世界告诉你的信息。

当然，下一个问题就是，怎样做到这个？荷兰德在 BACH 小组和伙伴们长时间地讨论这个基本概念。但到最后只得出，有一个办法能确定这个概念：必须建立一个计算机模拟的适应性作用者，就像他十五年前研究基因算法一样。

但不幸的是，他发现，到了 1977 年，人工智能主流知识已经不如 1962 年那么有助于他了。到了 1977 年，人工智能的研究领域无疑已经取得了很大的进展。比如在斯坦福大学，人工智能小组正在研制一系列被称为专家系统的极富成效的程序。专家系统能够模拟专业知识，比如可以通过运作成百条规则来模拟一个医生：“如果病人患的是细菌感染性脑膜炎，正在发高烧，那么也许是某种细菌感染。”该项研究已经引起了投资者的兴趣和注意。

但荷兰德对于应用性研究并不感兴趣。他想要的是一个关于适应性作用者的基本理论。从他的角度来看，这二十年来人类在人工智能领域取得进展的代价就是忽略了所有重要的方面，从对学习的研究到对来自环境的反馈的研究都受到了忽略，在荷兰德看来，反馈是最根本的问题。但除了像塞缪尔这样个别的人物之外，人工智能领域的人似乎都认为，学习是可以放置一边，不忙应付的。他们以为可以待他们将对语言的理解、人类问题解决法弄明白以后，或把对其他抽象推理问题的程序编完美后再来研究学习的问题。专家系统的设计者们甚至还为此而感到骄傲。他们谈论“知识工程”，也就是和相关的专家交谈几个月后，为新的专家系统制定出成百条规则，来回答：“在这种情况下你该怎么办？在那种情况下你该怎么办？”这类的问题。

公平地说，就是知识工程师都不得不承认，如果程序真能够像人一样通过传授和经验学到他们的专业知识，如果有人能想出来如何在应用这些软件时不至于像现在这么复杂和麻烦的话，事情就会顺利得多了。但对荷兰德来说，这正是问题之所在。拿现存的“学习模型”草草拼凑成一个软件解决不了任何问题。学习是认知的最根本的问题，正如进化是生物学的最根本的问题一样。这意味着，学习的机制必须在一开始就投入到认知建筑图纸中去，而不是到最后才被草率加入。荷兰德的理想模式仍然是赫伯式的神经网络，其最重要的一点是，每一次思维的神经冲动都强化了其神经连接，从而使思考成为可能。荷兰德确信，思考和学习只是大脑中同件事物的两个方面。他希望在他的适应性作用者的研究中能抓住这个根本的问题。

但尽管如此，荷兰德却并不想再回过头去重做神经网络模拟。虽然从 IBM701 开始至今已有二十五年了，但计算机的功能仍然没有强到能够按他想达到的规模做完整的赫伯式的计算机模拟。在六十年代，神经网络研究在“视感控制”这个标题下确实有过一阵短暂的小高潮。视感控制是视觉研究中专门用来识别特征的神经网络。但视感控制在赫伯实际所言的细胞集合中是一个极其简化的版式。（即使在识别视觉特征上，视感控制的功能也不强，这就是为什么视感控制已经不再受人重视的原因。）荷兰德对新一代的神经网络系统也并不十分欣赏。新一代的神经网络系统于七十年代末期开始流行，而且自此受到了很大关注。荷兰德说，这些系统比视感控制系统要先进些，但却仍然不能支持细胞集合的研究。确实，大多数版本根本就没有共鸣。通过网络的信号瀑布只有从前到后的单一走向。他说：“这些关联主义的网络在刺激 / 反馈行为方面和模型识别方面的功能很强，但从总体上来说却忽略了内部反馈的需要。而内部反馈正是赫伯认为细胞集合所不可或缺的。除了少数情况以外，神经网络研究人员基本上不在这个方面下功夫。”

结果荷兰德决定自己设计一个杂交的模拟适应性作用者，把神经网络和专家系统的长处相结合。为了加强计算机效率，他先用专家系统有名的“如果……则”规则开始入手。但他是从神经网络角度采用这个规则的。

荷兰德说，事实上，在任何情况下都会有类似“如果……则”的规则。六十年代末，在人们远还没听说过专家系统以前，基于规则的系统就已经作为人类用于认知的普通功能的计算机而被卡内奇-麦伦一派的爱伦·纽威尔和赫伯特·西蒙介绍进计算机编程里来了。纽威尔和西蒙把每一条规则都当作一个单一的知识包，或一个单一的技术组合。比如“如果吱吱的叫声是来自一只鸟，那么吱吱叫的东西就有翅膀”，或“如果在扣留你的反对者的人质还是扣留反对者的夫人之间选择，那就扣留反对者的夫人。”而且，这些规则指出，当程序员用这种方式来表达知识时，这个规则就自动获得了认知的某种绝妙的灵活性。根据条件采取行动的规则，即“如果情况是这样的，那就采取那种办法”，意味着这样的系统不在一个固定的系列，比如 FORTRAN 或 PASCAL 的某些子程序中运行。一条特定的规则只有在它的条件被满足后才会被激活，这样，它的反应对它所对应的情况而言就是恰如其分的。确实，当一条规则被激活后，它很可能会引起全部规则的

连锁反应：“如果情况是 A，就采取 B 措施”、“如果情况是 B，就采取 C 措施”、“如果情况是 C，就采取 D 措施”，等等。大体上说，整个新的程序随着这一系列的连锁反应而产生，并会按照所提出的问题给出完善的答案，与让人兴奋的游戏式的盲目而僵硬的计算机行为相比，这才真的是智能系统所需要的机制。

另外，基于规则的系统对大脑的神经分布来说具有很大的意义。比如说，一条规则就相当于计算机中赫伯式的细胞集合之一。他说：“用赫伯的理论来看，一个细胞集合就是一个简单的声明：如果事件如此这般地发生，那么我就会被高速激发一阵子。”规则的相互作用，伴随着一条规则激活后引起的对其他规则的整个连动，就像神经稠密相关联的大脑的一个自然结果。“赫伯的每一个细胞集合都包含了大约一千个到一万个神经元。”荷兰德说。“每一个神经元又有一千到一万个与其它神经元相连的突触。所以每一个细胞集合就与其它许多细胞集合相互关联。”大体上说，激活一个细胞集合，就等于在某种内部布告栏上张贴了一个布告，就会被大脑中大多数、或所有其他细胞集合看到。“细胞集合 295834108 现在正在行动！”当这个布告一出现，那些与这个细胞集合有适当关联的细胞集合就会被激发起来，并把自己的布告贴到布告栏上，这就引起了不断重复的循环。

荷兰德说，纽威尔—西蒙式的基于规则的系统的内部组织与这个布告栏的比喻非常接近。这个系统的内部数据结构就相当于这种布告栏，其中包含了一系列数字布告。然后还有大量的规则，也就是计算机把上百、甚至上千的数字编码成自身的部分。当整个系统处于运作状态时，每一条规则都经常扫描布告栏，搜寻符合自己“如果”条件的布告。每当其中一条规则发现了符合自己条件的布告，它立刻就会张贴一条数据信息，来续接“则”这部分。

荷兰德说：“假如把这个系统当作某种办公室，布告栏上有必须今天处理的备忘录，每一条规则相当于办公室里的一张办公桌，负有处理某种特定的布告的责任。每一天开始的时候，每一个办公桌都将自己负责处理的备忘录集中起来。到一天结束的时候，每一张办公桌都将处理结果的备忘录再张贴到布告栏上。”当然，到了第二天早上又开始重复这个循环。另外，有些备忘录是被探测器张贴上去的，以使这个系统保持与外界正在发生的事件的联系。还有一些备忘录也许是被激活的效应器，也就是使系统能够影响外部世界的子系统。荷兰德说，探测

器和效应器相当于眼睛和肌肉的计算机机制。所以，从原则上说，一个基于规则的系统很容易就能从它的环境中获得反馈，这是它最首要的要求之一。

所以荷兰德就把这个相似的布告栏比喻用于他的适应性作用者的设计之中，但同时他又在细节设计上返回到对传统观念的反抗。

比如，从标准的纽威尔—西蒙的角度来说，张贴在布告栏上的规则和备忘录都应该用“鸟类”或“黄色”这样的符号性语言来编写，这样做是因为我们特意要使之接近于人类头脑中的概念。对人工智能领域里的绝大多数人来说，用这样的象征来代表人类头脑中的概念，其正确性已毋庸置疑，这是几十年来的金科玉律，纽威尔和西蒙是这派观点的最雄辩的代表人物。而且，这也确实抓住了我们的头脑进行实际思考的很大特点。计算机中的象征可以被结合到繁冗的数据结构中，来表现复杂的情况，就像概念是与心理学家头脑中的各种模式相联系的，是从中产生的一样。反过来，这些数据结构也能够被程序用来与推理和问题解决这类的大脑活动竞争，就像我们头脑中模拟的类型会在思考的过程中被重建和改变一样。确实，如果你和许多研究人员一样，从字面上去理解纽威尔—西蒙的观点，你就会看到，这种符号处理就是思考。

但荷兰德就是不买帐。他说：“符号处理是一个很好的开端，而且确实理解有意识的思想过程上前进了一大步。”但就符号本身而言却太呆板了，遗留下的内容也太多了。一个包含 B—I—R—D（鸟的英文拼写）数据的每个字母怎么能够真正抓住所有微妙而游移不定的细微差别呢？如果这些字母与外部世界的真正鸟类无法沟通的话，对这个程序来说又怎么能具有任何真正的含义？就算撇开这个问题不谈，首先这些符号概念从何而来？它们是如何进化和发展的？又是如何通过外界的反馈而形成的？

对荷兰德来说，这正是人工智能的主流方向缺乏对学习问题的研究兴趣所导致的缺憾。“我们陷入的困境，与我们在不懂物种如何进化之前就对物种进行分类时所陷入的困境是同样的。”荷兰德说。“你可以从这类相似的系统中学到不少东西，但最终，这条道路是走不远的。”他仍然坚信，必须从赫伯的角度来理解概念：涌现的结构是从某种更深层的、不断在环境反馈中调整的神经基质中发展而来的。正如云彩形成于水蒸气的物理和化学变化，概念是模糊的、游移不定的、具有动力的。它们经常在重组和改变形状。“在理解复杂的适应性系统上，最关

键的是要弄清楚层次是怎么出现的？”他说，“如果你忽略了下一个层次的规律，你就永远不可能理解这个层次的问题。”

为了使他的适应性作用者抓住涌现这个概念，荷兰德决定，他的规则和布告不用具有特别意义的符号手段来编写。它们将就是一排排 1 和 0 的二进制的任意序列。一个布告也许就是像 10010100 这样的序列，与他的基因算法中的染色体很类似。而一条规则，用英文来说，也许就像：“如果布告栏上有一个布告是 1 # # # 0 # 00 的话，其中 # 表示‘无所谓’，那就贴上 01110101 这个布告。”

这种表示法很不符合常规，荷兰德只得给他的这些规则取一个新名称，“分类器”，因为它们的做法是根据布告的特殊类型来分别不同的布告。他认为这个抽象的表示法至关重要。因为他看到太多人工智能研究人员自己愚弄自己，假装他们基于符号的程序“知道”。在他的分类器系统中，布告的意义必须来自于它导致一条分类器规则激活了另一条分类器规则这种方式，或它具有意义是因为它的某一部分是直接被探测真实世界的感应器所编写的。概念和头脑中的模型就会作为自我支持的一群分类器涌现出来，它们应该能够像自动催化组那样自组和自我重组。

同时，荷兰德还从基于规则的系统的中央控制的常规概念中找出了例外。根据常识，基于规则的系统过于灵活了，所以不得不设计某种形式的中央控制来避免无政府状态。因为有成百上千条规则在争看充斥着布告的布告栏，所以总会有好几条规则突然蹿起来，相互争执谁来张贴下一条布告。假设认为，不可能所有的规则都张贴下一条布告，因为它们的布告可能完全不能连贯一致（“扣留人质”或“扣留其妻”），或者它们的布告也许会引起完全不同的规则瀑布，这样就会导致整个系统完全不同的表现。所以，为了防止计算机的精神分裂症，大多数系统都实行了繁冗的“争议解决”战略，以保障每次只有一条规则能采取行动。

但荷兰德却认为，这种自上而来的争议解决法恰恰是错误之所在。难道这个世界是如此简单、如此可以预测，以致于你总是能够在事先就知道什么是最好的规则吗？几乎不可能。而如果这个系统被事先告知如何行动，那将之称为人工智能就是一个骗局：这样的智能并不在程序之中，而是在程序员的脑子里。不，荷兰德要的是，让控制由学习而来。他要控制从最底层涌现而出，就像大脑的神经基质中的涌现一样。让连续一贯性见鬼去吧。如果两个分类器规则相互意见不能

统一，那就让它们在在自己的表现的基础上去竞争出一个结果来，这个结果就是被证实了的对完成任务的贡献，而不是有一个软件设计人员事先编好的程序的选择。

“与主流人工智能研究正相反，我认为竞争比连贯一致性更为本质。”连贯一致性是个幻想，因为在一个复杂的世界里，经验的连贯一致性是没有保障的。但对于与自己所处的环境玩游戏的作用者来说，竞争是永恒的。“另外，除了经济学和生物学对竞争有所研究之外，我们还没有提炼出何为竞争之主要特质来。”对于竞争的丰富多采性，我们只刚刚开始认识。想一想神奇的竞争能够产生出合作的巨大推动力，某些作用者为获得相互支持而自发结为联盟，相互形成象征性的关系。这种情形发生在所有复杂的适应性系统的每一个层次，从生物、经济到政治。“竞争和合作看上去也许是对立面，但在某种深层次上，它们是相同事物的两个方面。”

为实现竞争的机制，荷兰德决定把张贴布告变成某种拍卖活动。他的基本想法是，不要把分类器当作是计算机指令，而当作对在特定情况下张贴什么布告最好的假设和推测。通过每一条假设的数值来衡量其道理和力量，这样就有了一个叫价的基础。在荷兰德的布告张贴观念中，每一个循环开始时就像以往一样，所有的分类器都在扫描布告栏，寻找与自己相关的布告。它们就像以往一样，一发现与自己相关的分类器会站起来，准备张贴自己的布告。但与以往立即张贴自己的布告不同的是，每一个分类器都会先量力叫价。一个对“明天太阳会从东边升起来”的经验确信不疑的分类器也许出价一千，而一个确信“猫王还活着，晚上出现在华拉华拉汽车旅店6号”的分类器也许出价一。然后这个系统就会收集所有的出价，用抽彩给奖法选择一组赢家，叫价最高的最有可能赢。中选的分类器就会张贴它们的布告，就这样循环往复。

复杂吗？荷兰德不予否认。而且，这种拍卖就是以任意可信值取代任意争议解决战略。但现在让我们假设这个系统能够从这些可信值中吸取经验，那么这种拍卖就会排除中央仲裁人，从而让荷兰德获得他正想要的东西。并不是每一个分类器都能够赢：布告栏非常大，但却并非无限大。也并不是跑得最快的就一定能赢。如果时来运转的话，即使“猫王还活着”也能得到张贴自己的布告的机会。但一般来说，总是那些最强健的和可信值最高的假设获得系统表现的控制权，而

那些离谱的假设时不时出现只增加了这个系统的一点儿自发性。而且如果有一些假设相互矛盾，那也不应该成为危机，而应该是一个机会，一个让系统决定谁的可信度更大，从而吸取经验的机会。

所以，我们又返回到学习这个问题上来了：分类器怎么来证明自己的价值，又怎么为自己获取可信值呢？

对荷兰德来说，最显在的答案就是采用一种赫伯式的强化作用。每当一个作用者做对了什么事，从环境中得到了一个正反馈，它就应该强化那些与此相关的分类器。而每当它做错了什么事，它就同样应该削弱相关的分类器。无论采取强化的方法，还是采取削弱的方法，它同时应该不去理会那些不相干的分类器。

当然，关键是要弄明白这些分类器所起的作用。作用者不能奖赏那些在颁奖的时候正巧表现活跃的分类器。那就会像把得分的一切功劳都归于那个凑巧带球冲过底线的队员，而对操纵全局、把球传给他的四分卫，对拦截了对方进攻、为他开路的前锋，或任何替他传球的队员的功劳一笔勾销了。这也像把赢得一盘国际象棋的全部功劳都归于将住了对手的国王的最后一步棋，而无视为获得全局胜利而布局中的许多关键的棋步。但还有其它替代办法吗？如果作用者为了奖赏正确的分类器而必须预期回报，在没有被编入程序的情况下立该怎么做呢？在事先一无所知的情况下，作用者如何得知这些布局的价值呢？

这确实是一个问题。不幸的是，赫伯式的强化作用是一个过于广泛的一般性概念，无法提供解答。荷兰德感到非常困惑，一直到有一天他偶然回想起他在麻省理工学院上的基本经济学课程，那是著名的经济学教科书撰写人保尔·塞缪尔森上的课，他才意识到他几乎已经解决了这个问题。他的布告栏前的拍卖已经为他在系统中建立了某种市场机制，通过允许分类器量力叫价的办法，他已经创造出了通货。所以，为什么不采取下一步行动？为什么不创造一个完整的自由市场经济，让强化能够在利益驱动下发生作用呢？

确实，为什么不呢？当他终于看到了这一点，就发现这与经济非常相似。荷兰德认识到，如果把张贴在布告栏上的布告当作是上市叫卖的货物和市场上提供的服务，那么就能把分类器想成是生产这些产品和提供这些服务的公司和厂家。当一个分类器看到有一个布告满足了它的“如果条件”，它就会叫一个价，那么就可以把它想成是一个正在求购生产所需供应的厂家。为使这一相似性更加完

善，他要做的是，必须要使每一个分类器对自己消耗的供应付出报酬。他决定，当一个分类器赢得了张贴自己的布告的权力，它就得将自己的一部分力量转给供应商，也就是那些触发其张贴布告的分类器。在这个过程中，这些分类器就会被削弱。但在下一轮拍卖中，一旦它的布告上市，它会有重新聚集力量的机会，甚至能够获利。

但这些财富究竟是从何而来的呢？当然是从最终消费者而来的：环境就是系统的所有报偿之源。荷兰德认识到，除此之外，对凑巧在颁奖的时候活跃异常的分类器给予奖赏是完全正确的。既然每一个分类器都对供应有所付出，那么市场就会保证其奖赏普及到所有中选的分类器，从而产生他所寻求的某种自动报偿和惩罚机制。他说：“如果你生产出对大家都合适的产品，那么你就会获利。如果不是这样的话，那就没人会买你的东西，你就会破产。”所有能够产生有效行动的分类器都会被强化，任何参与布局的分类器都不会被忽略。随着时间的日积月累，随着整个系统不断汲取经验和从环境中获得反馈，每一个分类器的强度就会与自己对作用者的真正价值相符。

荷兰德将适应性作用者的这部分称为“水桶队列”算法，因为其方法是将奖赏从一个分类者传到前一个分类者。这有如希伯的强化神经突触的大脑理论的直接翻版。或者，从这个意义上来说，与在计算机上调训模拟的神经网络也如出一辙。当想到这些时，荷兰德知道他快要触及到问题的实质了。以利益为驱动力的经济强化是一个极为强大的组织力量，就如亚当·斯密的那只看不见的手在现实经济中具有强大的力量一样。荷兰德认识到，从原则上说，你可以用一组完全随意的分类器来启动系统，这样，作用者这个软件就会像新生婴儿一样手舞足蹈地乱蹬乱踹。然后，随着环境不断强化某些行为，随着水桶队列发生作用，你可以看到分类器将自己组织为前后连贯的序列，从而产生预期的行为表现。一句话，学习从头开始就被设入于系统之中了。

这么说，荷兰德几乎就摸到门了，但还不尽然。荷兰德把水桶队列算法建立在基本的基于法则的系统之上，并赋予了他的适应性作用者某种形式的学习功能。但适应性作用者还缺少另一种学习的形式，开采式学习与探险式学习之间是有区别的，水桶队列算法能够强化作用者已有的分类器，可以打磨已有的技能，但它却无法创新。仅仅只依靠水桶队列算法，会使系统趋于最大化的平庸状态，

因为这个算法无法使系统在无限广阔的可能性空间搜索到新的分类器。

荷兰德认为，搜索于可能性空间正是基因算法可以承担的工作。事实上，当你想到这一点时你就会看到，达尔文的比喻和亚当·斯密的比喻恰好可以相辅相成：企业能够随时间进化，为什么分类器不能够呢？

荷兰德当然不会为这一洞见而大惊小怪：基因算法一直存储在他脑子里。他刚开始对分类器做二进制的表述时就想到了基因算法。分类器用英文来陈述就像：“如果有两个布告，其模型分别是 1###0#00 和 0#00#### 则张贴布告 01110101。”但在计算机里，各部分信息会被串在一起，被写成一连串的信息：“1###0#000#00####01110101”。对基因算法而言，这就像是数字染色体。所以可以完全用同一种方式来执行这个算法。在大多数情况下，分类器会像以往一样在市场上欣然买进或卖出。但系统会经常性地选择最强的一对分类器来繁衍后代。这些中选的分类器会通过性交换来产生一对后代，从而重组它们的数字化建设砖块。而新生代会取代一对力弱的分类器。然后，新生代将有机会来证明自己的价值，通过水桶队列算法使自己越变越强壮。

结果就是，这群规则会随时间而改变和进化，在可能性空间中不断发现新的领域。由此你就会达到目的：将基因算法当作第三层，置于水桶队列算法和基本的基于规则的系统之上，荷兰德终于构筑成了一个不仅能够吸取经验，而且具有自发性和创造性的适应性作用者。

他现在所要做做的就是，将这个构想变为一个可以运作的软件程序。

荷兰德从 1977 年左右开始为第一个分类器系统编码。奇怪的是，这项工作并不像他期望的那样直截了当。“我真以为只消几个月时间我就可以编出能够运作、对我有用的程序来。但实际上，我用了大半年的时间才做到令我自己满意的地步。”他说。

另一方面，这也要怪他自己让自己做难。他以真正的荷兰德的风格来编写第一个分类器系统：完全依靠自己，而且是在家里，用的是十三年前他用于旋风计划的十六进位码和他家的一台康莫多 (Commodore) 计算机。

巴奇小组的成员们至今在说到这一段故事时还带着诧异的神情。当时满校园都是计算机：VAX 机、大型计算机、甚至高功能的绘图工作站。为什么要用康莫多机？为什么要用十六进位码？几乎没人还在用十六进位码了。如果你真是死

心塌地的计算机高手，想方设法要从一台计算机的程序中榨出最后一点利用价值的话，你也可以用所谓组合语言来写，那起码能够用像 MOV、JMZ 和 SUB 这样的帮助记忆的符号来取代数字。或者，你也可以用 PASCAL、C、FORTRAN 或 LISP 这样的高级语言来编写程序。这些语言是人类比较容易理解的。尤其是科恩，仍然记得为此与荷兰德做过长时间的激烈争论。如果用这些夹杂字母的数字将程序写得杂乱无章，谁会相信它能运作呢？就算有人相信你，但如果你的分类器系统是在家用计算机上编写成的，谁又会用它呢？

最终荷兰德只好做出让步。不过到他同意将分类器系统交给一个研究生，里克·里奥罗 (Rick Riolo) 时，早已是八十年代初了。里克将这个系统改编成一个一般性功能的、能够在所有类型的计算机上运行的软件系统。荷兰德承认说：“只不过这不是出于我的本能。我总是喜欢将实验做到能让我看到它真的能够运行的地步，然后就失去了兴趣，又回到了理论。”

正因为如此，所以他仍然坚持认为当时的康莫多计算机对他而言意义甚大。大学的计算机上是共享的，这令人头痛，他解释说：“我喜欢直接在计算机大忙小乱地编写程序，但如果用大学的计算机，就不可能容许我一口气上机八个小时不下来。”荷兰德把个人电脑看作是上帝的恩典。“我发觉我可以在我的个人电脑上编写程序，可以独个拥有于家中，不用再依赖任何人。”

另外，为旋风和 IBM701 编写程序的经验使荷兰德一点儿也不觉得这些桌面小电脑过于原始。事实上，当他买康莫多电脑时，他觉得已经前进了一大步。实际上他 1977 年就买了被称为“微心智” (Micromind) 的电脑，当时这台电脑看上去像是崭新的苹果 II 型机的强劲对手。“那是一台很好的小型计算机。”他回忆说。确实，尽管那只不过是一个黑匣子里的一堆电路板，可以与电报打字机连接后做信息输入和输出，而且没有屏幕，但它有 8000 字节和 8 位内存。价值三千美元。

说到十六进位码，那是因为微心智计算机当时没有其他语言可供使用，而荷兰德又不愿意等待。“我习惯了用组合程序，我用十六进制码就像用组合程序一样方便，所以用十六进制码来写程序对我来说并不困难。”

讲完这段故事后，荷兰德说，微心智计算机公司这么快就倒闭了，真是太令人遗憾了。他一直到感到八千内存实在不够用时才开始转用康莫多电脑。他说，

当时康莫多电脑是一个最理想的选择。它采用了与微心智同样的微处理器芯片。这意味着，几乎不用做任何改变就能够让它运行十六进制码。康莫多的内存要大得多，带屏幕显示，而最大的好处是，“康莫多能让我玩游戏。”他说。

尽管荷兰德的同事对此非常恼火，但他的第一个分类器系统却运转得非常好，这足以能够使他确信，这个系统确实实现了他的意图，而且确实为完整的认识理论播下了种子。这个系统的早期版本是他与密西根大学心理学教授裘迪·瑞特曼(Judy Reitman)共同研制的，发表于1978年。在对这个版本系统的测试中，其作用者学会了如何用基因算法运行一个模拟的迷宫，运行速度要比没有用基因算法快十倍。这次测试同时也证实了，分类器系统能够显示心理学家所称的“转换”：它能够把在前一个迷宫中学到的规则运用到后一个迷宫的运行中去。

这些早期研究成绩斐然，即使荷兰德并不大肆渲染，其名声也已使“分类器系统”这个词开始流行了起来。比如1980年，匹兹堡大学的史蒂芬·史密斯(Stephen Smith)开发了一个能够玩扑克的分器系统，并用它来和一个也有学习功能的老一点的玩扑克牌的软件对抗。这场对抗甚至不成其为比赛，分类器系统轻而易举地就赢了。1982年，泊拉罗德公司的斯图尔特·威尔逊(Stewart Wilson)用分类器系统来协调电视摄影机和机械手臂的动作。他的应用表明，水桶队列和基因算法能够导致分类器规则的自发组织，从而自我分类成一个个小组，起到控制子规则的作用，产生我们所需要的特殊而协调的动作。1982年，荷兰德的学生拉森·勃克(Lashon Booker)在他的博士论文中将分类者系统运用在一个模拟的环境，用它来寻找“食物”，避免“食物中毒”。这个系统很快就将自己的规则组织成这个环境的内化模型，就像一幅心智地图。

但对荷兰德来说，最感欣慰的是1983年戴维·高德勃格(David Goldberg)的研究证明。高德勃格是一个攻读博士学位的土木工程师，在此几年前就选修荷兰德的适应性系统课程，并一直对此深信不疑。高德勃格说服了荷兰德成为他的博士论文答辩委员会的主持人之一。他的论文证明了，怎样把基因算法和分类器系统运用于对一个模拟的煤气管网线的控制。当时，这是分类器系统对付过的最复杂的问题。任何一个煤气管道系统的目的都是以尽可能小的成本来满足终端用户的需要。但每一条煤气管道都有几十个或几百个压缩机，将煤气从几千英里的大管径管道抽出来。用户的煤气用量每一小时、每个季度都会有变化，而压缩机

和管道常会有渗漏，限制了整个系统在适当压力下的供气能力。安全控制要求煤气的气压和运速保持在适当的程度，但任何一个因素都会影响到其它因素，即使想使一个简单的煤气管道发挥最大效益，都复杂到根本无法用数学来分析。管道操作者是通过长时间的“学徒”才学会用本能和感觉来控制煤气管道系统的这门技术的，就像我们学开车一样。

事实上，煤气管道的问题之复杂，就连荷兰德都发愁，担心高德勃格的研究较之其它分类器系统运用小组，也许更可能失败。但其实他根本不必担心。高德勃格的系统非常圆满地学会了控制这个模拟的煤气管道系统：这个系统从一组完全随意的分类器开始，在经过一千天的模拟试验之后，达到了对控制煤气管道的专家水平。而且，这个系统掌握操作煤气管道的规则简单得不可思议。它的布告仅为十六个二位数那么长，它的布告栏上每次只有五条布告，总共只有六十条分类器规则。事实上，高德勃格在他家的苹果二型机上只用了 64 千字节的内存就运作了整个分类器系统和煤气管道的模拟程序。荷兰德笑着说：“高德勃格是我最紧密的追随者。”

煤气管道的模拟不仅使高德勃格在 1983 年获得了博士学位，而且使他获得了 1985 年度的总统青年研究者奖。荷兰德自己也将高德勃格的研究看作是分类器系统研究的一个里程碑。“这非常有说服力，”他说。“它真正解决了一个实际问题，或者说，起码是解决了一个实际问题的模拟。”而且，不无讽刺也不无欣慰的是，这个分类器系统最“实际”的一例，反过来对基本的认知理论也最具说服力。

荷兰德说，这一点在高德勃格的系统如何学会控制渗漏的方法中表现得最为明显。这个系统从一组随意的分类器开始，首先掌握一系列对正常的煤气管道的运行较为广泛适用的规则。比如在一次传送煤气的操作中，出现了一条可以被解释为“一直传送‘没有渗漏’的信息”。很显然，这是一条过于一般的规则，只适用于管道运行正常的情况。但在高德勃路开始在各种模拟的压缩机上打出模拟的洞来的时候，这个系统很快就发现了这个问题，其操作立刻就失灵了。但通过基因算法和水桶队列，这个系统最终从自己的错误中反省了过来，开始产生了一些比较特殊的规则，比如“如果输入气压很低，输出气压也很低，气压转换率是消极的，则传送‘渗漏’信息”。而且，只要这条规则一经实行，就会产生比第

一条规则高得多的叫价，把第一条规则从布告栏上取代下来。如此这般。大体上说，第一条规则在不出现非常规行为的正常情况下会发生作用，而一旦发生意外情况，第二条规则和其他规则就会取代第一条规则，对意外的行为做出校正反应。

当高德勃格告诉荷兰德这些时，荷兰德激动万分。在心理学上，这种知识的组织被称为缺席的等级制度(defulthierarchy)，当时这正是荷兰德久埋脑海的研究课题。自1980年起，他一直在与三位密西根大学的同事，心理学家凯瑟·赫力约电(Keith Holyoak)、里查德·尼斯伯特(Richard Nisbett)和哲学家保尔·查加德(Paul Thagard)密切合作，致力于创立一个关于学习、推理和知识发掘的认知理论。正如他们在1986年出版的《归纳法》一书中所说的那样，他们四个人都相信，这个理论必须建立在三项基本原则，而这三项基本原则也正是荷兰德的分类器系统的原则：即，知识能够以类似规则的思维结构来表达；这些规则始终处于竞争之中，经验使得有用的规则越变越强，无用的规则越变越弱；具有说服力的新规则产生于旧规则的组合之中。这个有大量的观察和实验结果支持的观点表明，这些原则可以解释各种恍然大悟的洞见，包括从牛顿对苹果落地的顿悟，到日常生活中对相似性的发现。

他们特别指出，这三项原则应能够产生缺席的等级制度的自发涌现。确实，这正是人类所有知识的基本组织结构。一组规则形成缺席的等级制度，从根本上来说与荷兰德所称的内在模型是同一个意思。我们用较弱的一般性规则和较强的特例来预测事物该如何分类：“如果它是流线型的，有鳍，生活在水中，那它就是鱼。”但“如果它同时还有毛发，呼吸空气，而且很大，那它就是鲸。”我们用同样的结构来预测如何做事：“‘i’总是在‘e’之前，除非其后有‘c’。”但“如果是neighbor、weigh、或weird这些字，则‘e’总是在‘i’之前。”我们还用同样的结构来预测因果关系：“如果你朝一条狗吹口哨，它就会向你跑来”，但“如果它向你嗥叫，并把颈背部的毛发竖起来，那它也许不会向你跑来。”

荷兰德说，这个理论说明，无论这些原则是作为分类器系统来执行，还是以别的形式来实行，缺席的等级制度都应该会涌现出来。(事实上，《归纳法》一书中引用的许多计算机模拟实验都是用PI来做的。PI是查加德与赫力约克设计的更常规的基于规则的软件程序。)不管怎么说，看到等级制度能够真的从高德勃

格的煤气管道模拟中涌现而出，真是非常令人激动。分类器系统总是从零起步，它最初的规则完全是在计算机模拟的太初混沌中随意设置的，然而就在这混沌之中，美妙的结构涌现了出来，令人惊喜，让人讶异。

“我们感到欢欣鼓舞，这是能够真正被称为涌现模型的首例。”荷兰德说。

回归家园

厨房的谈话总是无休无止的，荷兰德和阿瑟的谈话就这样一小时一小时地持续着。到最后结束时，他们的讨论已经从国际象棋跳到经济学，从经济学跳到跳棋，又跳到内在模型，基因算法，然后又回到国际象棋。阿瑟感到他终于开始了解学习和适应的全部含义了。俩人到了睡眠惺忪的时候开始详细讨论一个或许能够解决经济学中理性期望问题的途径：为什么不用荷兰德式的分类器系统来模拟一伙经济作用者，让它们就像真正的经济作用者一样从经验中学习，从而取代经济作用者是完全理性的这个假设呢？

真的，为什么不呢？入睡前，荷兰德写了张纸条提醒自己把恰好放在他这里的塞缪尔的计算机跳棋手投影胶片找出来。阿瑟已经对这个能够学习的游戏软件的概念入迷了。他以前从未听说过有这样的东西。荷兰德想，也许他明天应该就这个主题为与会代表做一个即兴发言。

这个发言引起了强烈的反响，特别是当荷兰德向听众们指出，塞缪尔的计算机跳棋软件在三十年后的今天仍然在同类软件中居于领先地位时，反响尤为强烈。然而，荷兰德从这个角度所做的发言之所以在会议上引起强烈反响，完全不是因为这样的即兴交流在那时非同寻常。与会代表发现，很难指出经济学会议的气氛究竟是从什么时候开始转变的。只是大约在第三天，当大家排除了原来的学术术语障碍，扫清了相互之间的困惑之后，会议就开始变得热烈了起来。

“我发现这非常令人激动，”斯图尔特·考夫曼说。他在与阿瑟交谈了两周之后，发现自己很缺乏经济学知识。“有趣的是，当你接触到所有诸如指画法作品这样的新事物时，感到就好像在幼儿园一样，或就像一个幼犬，四处乱跑，四处嗅闻，有一种发现新东西的美妙感觉，仿佛整个世界就是个值得去探索的奇境，所有的事都是新奇的。不知为什么，这就是这个会议带给我的感觉：总是好奇地

想知道其他人是怎么想的，他们的标准是什么，这个新领域中的问题是什么。这真是非常符合我个人的胃口。但我想，这也是许多参加这次会议的人的风格、我们彼此之间有过长时间的交谈，彼此相互倾听。”

不无讽刺的是，物理学家最初对数学的抽象性持怀疑态度，而这次却正是数学提供了一神共同的语言。“现在回想起来，我认为肯·阿罗的决定是正确的，”尤金尼亚·辛格说。她起初对阿罗没有吸收社会学家和心理学家参加会议感到失望。“阿罗把最优秀、最具有技术训练背景的经济学家都召集来了，结果建立了一种信任感。与会的物理学家们对他们的技术背景感到吃惊。这些经济学家对许多技术概念，甚至对一些物理模型都非常熟悉，所以与物理学家之间就能够用共同的词汇来探讨问题，建立起一种能够相互交流的语言。但如果邀请许多没有技术背景的社会学家来参加会议，我不敢保证能否跨越语言的海湾。”

当大多数正式发言结束之后，与会者们就开始分成非正式的研讨小组，就专门的问题进行讨论。其中一个最流行的问题就是混沌理论，对混沌问题的讨论经常在小会议室围绕着戴维·鲁勒展开。荷兰德说：“我们都知道混沌理论，都读过这方面的文章。一些经济学家已经在此领域做了大量的研究。但我记得当我们看到物理学家就此做出的一些模型以后，都感到十分兴奋。”

与此同时，安德森和阿瑟参加了一个在阳台上进行的关于技术锁定或地区经济差异这类的经济“类型”的讨论。阿瑟说：“我太累了，无法无休止地谈论和听讨论，我只能借这个研讨小组的讨论来测验菲尔·安德森的各种数学技巧。”

但实际上阿瑟发现自己和安德森，以及其他物理学家之间意见很一致。他说：“我喜欢他们强调计算机实验。”在六十年代和七十年代，在经济学家眼里，计算机模型已是声名狼藉。因为很多早期计算机模型是根据程序员倾向的政策建议拼凑出来的，其结果当然是使计算机产生支持这一政策的建议。“所以当我看到计算机在物理学中得到适当应用时，感到非常着迷。我觉得物理学领域的开放性在召唤着我。这是一种知识性的开放，愿意正视新的概念，不再对该接受什么抱教条而呆板的态度。”

同时，阿瑟对报酬递增率能对会议产生影响而感到欣慰。除了他对此的发言之外，其他经济学家也在独立研究这个问题。比如，有一天与会者通过电话听荣誉教授霍利斯·切纳利的演讲。切纳利因为重病而未能来参加会议。他的演讲内

容是关于发展的类型,为什么各国在如何发展上各有不同,特别是第三世界国家。他在演讲中提及了报酬递增率。阿瑟说:“所以,他刚挂断电话阿罗就跳了起来,跑到黑板面前说:‘霍利斯·切纳利提到了报酬递增率,现在让我来做更详尽的阐述。’于是他自发地做了一个半小时的关于报酬递增率思想史的演讲,同时将这个理论与贸易理论联系起来讲了一番,而且是在没有一点儿笔记可循的情况下。我从来不怀疑阿罗在报酬递增率方面的知识有这么丰富。”

仅在此几天之后,已经在将报酬递增率理论运用于国际贸易方面做出了创新性研究的约瑟·斯甘曼(Jose Scheinkman)与洛杉矶加州大学的米歇尔·波德林(Michele Boldrin)熬夜熬到凌晨三点,拿出了一个报酬递增率经济发展理论。

阿瑟说,讨论不可避免地会涉及到股票市场是否会进入报酬递增循环,因为股民们看到有其他投资者加入进来,所以股票不断看涨。或反过来,是否会出现负反馈效应?比如股民看到其他投资者都退出时会出现崩盘。阿瑟说:“当时不知为什么股市正好过热,所以大家就对这个理论是否可行、这种情况是否会真的在现实中发生,是否很快会发生等问题展开了热烈的讨论。”

大家的共识是:“这种情况也许会发生。”戴维·潘恩斯认为崩盘的可能性非常大,所以他打电话给他的经纪人,要求卖掉他的一部分股票。他的经纪人劝他打消了这个念头。果然一个月之后,1987年10月19日,出现了股票在一天之内猛跌508个点的情况。

阿瑟说:“这就导致了一种流行的说法,人们认为桑塔费的会议在一个月前就预测到了股票市场的崩坍。其实我们并没有做这个预测。但股票市场之所以崩坍,当然是因为其中有我们长时间探讨的这种正反馈机制在起作用。”

这场为期十天的马拉松式的研讨会就这样继续着,只有星期六下午休会。所有的人都累得精疲力尽,累得极其愉快。阿瑟说:“十天结束时,我感到我站在了一个科学的高度。我无法相信竟有人愿意倾听我的观点。”

但确实有许多人愿意倾听。阿瑟因为答应了要在9月18日,星期五到旧金山市做一场演讲,所以不得不放弃了最后一天的会议(无法从纽约脱身来参加会议的里德送来了一卷录像带表示祝贺)。但是,当星期一下午阿瑟返回来,一跨进修道院的门,潘恩斯就带着微笑向他迎来。

“最后一天会议开得不错吧?”阿瑟问。

“哦，我们都非常满意。”潘恩斯回答。尤金尼亚·辛格表现得尤为热情，正准备好好向里德汇报此次会议的收获。他接着说，会议一结束，研究所就召开了科学委员会会议，会议的第一个动议就是，他们想邀请阿瑟参加科学委员会。

阿瑟吃了一惊。科学委员会是研究所内部的圣地，掌握着决策的实权。“我当然接受了这个邀请。”他说。

潘恩斯说：“我们还有一个考虑，我们非常不愿意失去这次机会。所有的人都对这次会议感到非常振奋，所以我们想借机将之扩展成一个全面展开的研究项目。我们一直在讨论这个问题，不知你和荷兰德下一个学年是否能来这里，启动这个研究项目，让它运作起来。”

阿瑟瞬间就明白了，科学委员会想邀请他和荷兰德来主持这项研究。他结结巴巴地回答说：他确实有一个年假可以休，事实上这项研究对他来说非常有趣。当然，能来主持这项研究他十分高兴。

他说：“我感到受宠若惊。我确实觉得自己很卑微。主持这样一项研究使我直到今天都在问自己：我是谁呢？我的意思是，这儿有菲尔·安德森，有肯·阿罗，然后还有我。而他们竟在问我，你对这个是怎么想的，对那个是怎么认为的。所以我的反应是，他们是不是在问其他什么人？在我以往的学术生涯中从来没有出现过这样的事情。”

“你知道，对一个科学家来说，他完全有可能感到身怀绝技，却不被圈内人所接受。约翰·荷兰德几十年都处在这种情况下。我当然也有同感。直到我踏入桑塔费研究所，这些聪明绝顶的人，这些我过去只是读到过的人物给了我这样一个印象：‘你怎么这么久才到这里来？’”

在十天的会议中，阿瑟无休止地谈话和倾听。他的头脑塞满了各种思想，把脑子都涨痛了。他精疲力尽，需要三周的睡眠才能恢复体力，但他觉得简直就像置身天堂一样。

“从现在起，我不再为其他经济学家会怎么想而担忧了。能够与我分享研究成果的人们都集中在桑塔费。桑塔费就是我的家。”

第六章 混沌边缘的游戏

1987年9月22日的清晨阳光明媚，布朗·阿瑟刚刚被邀请参与主持桑塔费研究所的一项新的经济学研究项目，就睡眼惺忪地钻进一辆小车，和约翰·荷兰德一起去罗萨拉莫斯参加一个人工生命研讨会。这个会期五天的研讨会已经于前一天就开始了。

阿瑟对“人工生命”的确切含义还有点儿稀里糊涂。事实上，上周的经济学研讨会已经使他精疲力尽了。他现在对许多事情都有点儿头脑不清楚。荷兰德向他解释说，人工生命类似人工智能。区别仅在于，人工生命是用计算机来模拟进化的基本生物机制和生命本身，而不像人工智能那样用计算机来模拟思想过程。荷兰德说，人工生命的研究很像他的基因算法和分类器系统的研究，只不过人工生命的研究更为广泛，胃口也更大。

整个人工生命研究是罗萨拉莫斯的博士后克里斯·朗顿(Chris Langton)的劳作。朗顿是荷兰德和勃克斯在密西根大学的学生。荷兰德说，朗顿就像一个迟绽的花蕾。他今年已三十九岁，比大多数博士后要年长十岁，而且还没有开始为完成博士论文做最后一搏。但他是个非常杰出的学生。“有非常丰富的想象力，非常善于归集各方面的经验。”朗顿对这个人工生命研讨会投注了极大的精力。人工生命是他的婴儿，他给它取了名字，耗费了近十年的时间试图陈述这个概念。他筹划了这个研讨会，试图把人工生命变成一个真正的科学学科。但他却不知道究竟有多少人会来参加这个会议。他点燃了罗萨拉莫斯非线性研究中心对人工生命研究的信心，使其为这个研讨会赞助了一万五千美元，又说服了桑塔费研究所为此次会议投资五千美元，并同意将会议记录汇编结集出版，作为复杂性理论系列书籍的一部分。从昨天会议开始的情况来看，荷兰德认为朗顿干得非常漂亮。阿瑟得亲自来看看才能有所知。

确实，阿瑟亲自来看了。当他和荷兰德步入礼堂的时候，他很快就得到了两个印象。第一个印象是，他大大低估了他的这位同屋伙伴。“我就好像是和甘地一起走进了会堂似的，”他说。“我原以为我是和一个身材矮小、令人愉快的计算

机高手同屋，而这里的人们却将他当作这个领域的伟大人物。在会议厅的走廊上，人们向他涌来，高呼：“约翰·荷兰德！”不断问他，你对这个问题是什么看法？对那个问题怎么看？你收到我寄给你的论文了吗？”

阿瑟的这位同屋尽量边走边回答这些问题，但却仍然顾此失彼。荷兰德已经名声显赫了，这一点使他自己感到很尴尬。他这二十五年来每年都培养出一至两名博士研究生，所以就有了许多他的理论的追随者，他们四处传播他的思想。与此同时，世界也在向他靠拢。神经网络又重新时髦了起来。无独有偶，学习的问题也变成了人工智能主流派的最炙手可热的课题。1985 年召开了第一次基因算法的国际学术会议，而且很快还会召开这样的会议。“每个人的标准开场白似乎都是，约翰·荷兰德有过如此这般的说法，这是我对他的理论的阐述。”

给阿瑟的第二个印象是，人工生命很奇怪。他从来没见过朗顿的面。这是一个过分瘦长的家伙，有一头长而密的棕色头发和一张布满皱纹的脸，这使他看上去很像年轻而和蔼可亲的美国著名性格演员沃尔特·马绍。朗顿总是在忙来忙去，不是在复印材料、安装点什么，就是在担忧着什么，发疯般地力求一切按预期的安排正常运作。

所以阿瑟索性就把时间消磨在参观布置在环绕会议厅走廊上的那些计算机演示上。这是他所见过的最精彩的计算机演示：电子屏幕上动画的鸟群骤然飞起、栩栩如生的植物就在你眼前的屏幕上生长、发育，还有那些波动起伏、闪闪发光的稀奇古怪的碎片似的生物体和模型。所有这些很令人目眩，但这意味着什么呢？

还有那些演讲！阿瑟所听到的都是些混合了大胆的思考 and 扎实的经验的发言。在发言者站起来发言之前，似乎没人知道他会说些什么。其中许多人都梳着马尾巴发型，穿着牛仔裤（有一个女性光着脚站起来发言）。“涌现”这个词不断出现在发言中。而更重要的是，这里有一种不可思议的旺盛的精力和同志间的友谊和忠诚，有一种令障碍坍塌、令新思想得到释放的氛围，一种自发的、不可预测的、指向开放的自由氛围。这个人工生命研讨会以一种奇怪的知识性的方式让人感到一种反叛的味道，就像越战之后的反文化运动。麻省综合医院的顿悟

虽然克里斯·朗顿对人工生命的诞生已经记不清确切的日期了，但却仍然清楚地记得那一时刻。那是在 1971 年底，或 1972 年初，反正是在冬天。他就像个

标准的计算机狂那样，独自一人呆在波士顿麻省综合医院的六层楼上，坐在心理学系的一架像书桌那么巨大的 PDP-9 型计算机的控制台前，凌晨三点了还在修正计算机编码的错误。

他喜欢这样的工作方式。朗顿解释说：“这并不是因为我们必须在特定的时间来这儿工作。这个地方的负责人，富兰克·艾尔文(Frank Ervin)是一个非常富有创造性、非常出色的人。他雇用了一群聪明的年轻人来编程，给他们以充分的自由。所以，正儿八经的人白天来这儿干些极其枯燥无味的编程，我们却习惯于下午四、五点钟才来这儿，一直呆到凌晨三、四点钟。在这段时间里我们可以尽情地在计算机上玩耍。”

确实，就朗顿而言，编程是最有趣的游戏。编程并不是他刻意的职业选择。两年前他被一所大学退学后，作为对越战的有良心的反战者，来到麻省综合医院履行替代性服务义务，但不久就身不由己地卷入了艾尔文的小组。事实上，除了在中学暑期班上学到的那点知识之外，他的编程技术几乎完全是自学的。但他一开始搅到计算机里面去，就陶醉其中，直到履行完义务还逗留在麻省综合医院。

“计算机编程太棒了，”他说。“我本质上是个机械师，喜欢建造东西，喜欢看到这些东西能够真正发挥作用。”对 PDP-9 型计算机上的硬件结构，他说：“你必须环环相扣地掌握硬件的运作机制。编程序时必须将计算机硬件的实际性能考虑在内。比如说，‘将这个特殊名称存入存储器内，然后再将其取回’，这是一个逻辑指令，但同时也是非常机械化的。”

与此同时他也很喜欢他所深入其中的这种稀奇古怪的抽象游戏。在这方面，一个很好的例子就是他接手的第一个项目，让实验心理学家能在 PDP-9 型计算机上运行程序。多年以来他们一直在老式、速度缓慢之极的 PDP-1 型机上记录数据，已经到了忍无可忍的地步了。但问题是，他们已经在 PDP-1 型机上开发了各种具有特殊功能的软件，这些软件无法在 PDP-9 型机上运行，而他们又不想为换计算机而重新编写程序。所以朗顿的任务是编写一个能够让旧有软件以为仍然在老型机上运行的程序。也就是说，他得在 PDP-9 型机内部编写一个虚拟的 PDP-1 型机的程序。

朗顿说：“我并没有正式修过计算机理论课程；因此我第一次对虚拟计算机的概念的了解完全出于本能，是通过创建一个虚拟计算机环境才学到的。我立刻

就喜欢上了这个概念。将一台真正的计算机的运作规律抽象为一个程序这一点意味着，这个程序已经抓住了这台计算机的所有重要特点，你可以将其硬件抛置一边了。”

他说，不管怎么说，在那个特殊的夜晚，我正在修改编码错误，因为明知这一阵子他无法在机器上运行任何东西，所以他就从计算机的大阴极射线管前面的盒子里抽出其中的一卷纸磁带，把它插入磁带阅读器，开始在计算机上运行“生命游戏”。

这是他最喜欢的计算机游戏之一。朗顿说：“我们从比尔·高士泊 (Bill Gosper) 小组那儿弄到了这个软件程序，他们在麻省理工学院玩‘生命游戏’。我们也在玩这个游戏。”这个游戏有不可抗拒的诱惑力。这个前些年由英国数学家约翰·康卫 (John Conway) 开发的程序不是真的可以让你玩的游戏。它更像是一个可以按照你的意愿演化的缩微宇宙。开始时，计算机屏幕上只出现这个宇宙的一个影像：一个平面坐标方格上布满了“活着的”黑方块和“死了的”白方块，最初的图案可以任你摆布。但一旦你开始运作这个游戏后，这些方块就会根据很少几条简单规则活过来或死过去。每一代的每一个方块首先要环顾其四周的近邻，如果近邻中早就有太多活着的方块了，则这个方块的下一代就会因为数额过剩而死去。如果其近邻中存活者过少，则这个方块就会因为孤独而死去。但如果其近邻中存有两个或三个“活着的”方块，比例恰到好处，则这个方块的下一代就能存活下去。也就是说，要么是这下一代已经活着，能够继续存活下去，如果不是这样，就会产生新一代。

就这么简单。这些规则只是一种漫画式的生物学。然而“生命游戏”的奇妙之处在于，当你把这些简单的规则变成一个计算机程序之后，就好像真的能够让计算机屏幕活起来。与当今你能看到的计算机屏幕相比，这个游戏的动作相当缓慢、迟钝，就好像是让录像机用慢动作重播一遍似的。但如果你用心观察，就可以看到计算机屏幕沸腾着各种活动，就像是在一台显微镜下观察一滴池塘水里的微生物。开始时你可以随意设置一些活着的方块，可以观察到它们如何很快自组织成各种连贯一致的结构。其中有的结构翻滚不已，有的结构的振荡有如野兽呼吸。你还会发现“滑翔机”，即一小簇以常速滑过屏幕的活细胞。你还会看到稳定地发射出新的滑翔机的“滑翔机枪”，以及在那里气闲心定地吞食滑翔机的

其他结构。如果你走运的话，甚至还可能看到《爱丽丝梦游仙境》里的那种“切夏猫”，它缓慢地销声匿迹，只留下微笑和足痕。每重玩一次，出现在屏幕上的图案都会有所不同，没有人能够穷尽其可能性。朗顿说：“我看到的第一个图案是大而稳定的宝石型的结构。但当你从外部加入一个滑翔机，就会打乱这个完美无缺的晶体美。其结构就会慢慢消亡至无影无踪，就好像滑翔机是一种外来的传染病。这就好像是安德洛墨达的世系一样。”

所以那天晚上，计算机在出声地运转，计算机屏幕上活跃着各种小图案，而朗顿在修改编码错误。“有一次我抬头扫了一眼，计算机屏幕上的生命游戏正在弯弯曲曲地逝去。然后我重又扫了一眼我正在修改的计算机编码。这时我颈后的汗毛倒竖了起来。我感到还有其他人在这个房间里。”

朗顿回头环顾，以为他的一个同事正偷偷站在他身后。这是一间拥挤不堪的屋子，放有 PDP-9 型机的巨大的蓝色机柜、立着许多放置各种电子设备的架子，还堆放着一台老式脑电图记录机和示波管。有一些箱子挤在角落里，电线和管子长长地拖曳满地，还有许多从未使用过的东西。这是真正的计算机迷们的天堂。但并没有人站在他背后，没有人藏在那里，他完全是一个人呆在这里。

朗顿回过头来看计算机屏幕。“我意识到，一定是‘生命游戏’在捣鬼。计算机屏幕上的某些东西是活生生的。我无法表达我在那一刻的感觉，我区分不出什么是硬件，什么是过程。我从某种深层次上认识到，在计算机上发生的一切和在我肉体上发生的一切其实并没有很大的区别。计算机屏幕上所显示的确实是这两件事的同一种过程。”

“我记得我那天深夜向窗外望去，计算机仍然在出声地运转着。那是一个晴朗的寒夜，星星在天上闪烁，可以凭窗看到剑桥查里斯河对岸的科学博物馆和周围疾驰而过的汽车。我思索着活动的型式，以及其中所发生的一切。城市就卧在那里，它是有生命的，好像和‘生命游戏’是同一回事。当然它要复杂得多，但却并没有什么不同。”

大脑的自我集合

朗顿说，二十年之后回顾起来，感到正是那个夜晚的顿悟改变了他的生活。

但那时却只是某种介于直觉之上的感觉。“这种事就是灵感瞬间降临，然后就逝去了。有如一阵飓风，或席卷而来的浪潮，改变了大地的面貌，然后就消失得无影无踪了。这个夜晚留在我头脑里的印象其实已经淡出了，但却建立了我对某些事的特殊感觉。任何能够触动我的事都能引起我对这种活动模型的联想。所以我后来一直就在试图跟着这种感觉走。当然，这种感觉经常把我引向一处后，就撒手不管地遁去了，弄得我不知道下一步该怎么走。”

但实际上他还是过低估计了情况。1971 年的朗顿既不知道他所感觉到的意味着什么，离成为一个系统学者也还相距遥远。他的所谓跟着感觉走的想法，不过是逛逛图书馆或书店，在各处搜寻几篇有关模拟机器、涌现、集体行为型式，或有关导致全球动力的地方规则这类的文章来读读。他还时不时地在哈佛大学、波士顿大学或别的什么大学随意选修些课程。但基本上，他满足于做自然降临于他的事情。他生活中还有太多别的内容。他真正热爱的是弹吉它。他和他的一个朋友曾尝试创建一个职业的乡村民乐队，但没有成功。他还投入了很大的精力来抗拒征兵，抵制越南战争。大学周边的整个反文化氛围使得剑桥和波士顿对他来说成了一个非常愉快的地方。朗顿很久都没有比这感到更愉快了。

“中学生活对我来说简直是个灾难，”他说，1962 年，他十四岁的时候，从他家乡麻省林肯的一所很小的小学升入林肯—沙德伯雷中学，这是个地区性的、规模很大的中学“我每天去学校就像去监狱一样。这是一个工业性很强的中学，在这里，除非你能证明自己非常杰出，能够进入特殊的班级，否则就会受到就像对待少年犯一样的对待。而我正好又不是能与整个体制所要求的那种思想品行保持一致的人。我蓄长发、弹吉它、听民歌，我是一个嬉皮士，而我周围没有一个嬉皮士，所以我就很孤立。”

他的父母无助于他改变这种状况。他母亲简·朗顿是个侦探小说作家，父亲威廉姆·朗顿是个物理学家，他们从人权运动和越南战争时期开始就一直是“激进分子”。“我上中学时，我父母偶尔会带我到市区参加为争取平等而举行的静坐示威，或去学校讲演。我们去过许多市区学校，也坐公车去过华盛顿，我们抗议这个、抗议那个。我因为参加抗议而被警察当作抗议者逮捕过。”

朗顿最终于 1966 年从中学毕了业。他说：“那正是嬉皮时代的开始。所以那年夏天我和我的一个朋友跳上一辆公车去了加州，那里对嬉皮士的认识要领先得

多。我们直接去了海特-阿什博雷，去听卓别林和杰弗逊合唱乐团的演唱。那个夏天真是棒极了。”

不幸的是，到了秋天，他不得不回到伊利诺斯州的洛克福特大学报到。私下里，他根本就不想上大学，而这个大学对他也抱以同样的态度：由于他中学的成绩总在三分左右晃动，哈佛和麻省理工学院这类的学校对他的申请一概给予斩钉截铁的拒绝。但他的父母坚持要他到别处去上大学。洛克福特大学当时刚由一所女子完校改为一所文科性综合大学，正在积极招生。

对朗顿来说，坐落在玉米地当中的洛克福特大学的崭新的校园看上去就像一所警戒不严的监狱农场。“也许最好再在校园四周围墙上围上有刺的和带尖刃的铁丝网。”因为学校招收了太多的学生，那年，在总共五百名学生中，有十名是从东海岸招收来的嬉皮士。“我们到了那里，环顾四周，都是些土得掉渣的农民子弟和极端的右翼分子。这地方就像美国独立战争时期的民兵基地。在东海岸，起码有各种运动在风起云涌，而在伊利诺斯州的玉米地里，时间仍然停留在麦卡锡时代。在1966年的伊利诺斯州中部，嬉皮士只有死路一条。注册时，他们一看到我就让我在参加女子体育馆这栏上登记。有一次，我们几个人刚走进一家炸面饼圈店，几个国家警察就跟着我们进来了，其中一个警察说：‘我不知道是你们其中的谁，但你们这些家伙中有一个人的女朋友可真够难看的。’我们遭到所有的饭馆的驱逐，没人愿意为我们服务，因为我们蓄长发。校方很快就开始怀疑我们与吸毒和其它所有坏事有关联。”

很明显，唯一能做的事就是北上。朗顿和其他“不受欢迎”的伙伴开始沿途免费搭乘他人便车旅行到麦迪逊的威斯康星大学，经常在那里一呆就是几周。“麦迪逊才是我呆的地方。六十年代的整个反文化运动对麦迪逊都有所波及，而洛克福特却保守沉闷。在麦迪逊，经常有反战活动，许多嬉皮士开始吸毒，所以我也染上了吸毒。我有一个电吉它，我的一个朋友接触过阿泊拉民间音乐，所以我们非常成功地参加了一些即席演奏会。在麦迪逊发生了许多事，只是没有一件是与你上大学必须要干的事相关。”

毫不奇怪，朗顿在洛克福特刚上大学二年级就被留校察看。秋季学期结束后，校方就让他离开学校，他也告诉校方他正要退学。

他说：“我想呆在麦迪逊，但我在那里没有工作，没有办法维持生计。所以

我只好回到波士顿，在波士顿我变得更加政治化，更深地卷入了反战活动。”因为没有可以缓役的学生身份，所以他向征兵委员会申请良心反战者身份。经过长时间的争取，征兵委员会终于批准了他的申请。“于是我就于 1968 年到麻省综合医院履行替代服务。”

当然，一到那里以后朗顿就找到了适合自己的位置。他会非常乐意无限制地从事计算机编程工作。他说：“这个工作太棒了。我学到了许多知识，我与这里的人相处得十分愉快。”但到 1972 年，他就别无选择了。他这个小组的主持人艾尔文接受了洛杉矶加州大学的教职，连同这个实验室也一块儿带走了。无所适从的朗顿就与另一个心理学家的小组搭上了关系。这个小组的心理学家们研究的是东南亚的短尾猕猴的社会交往行为。1972 年感恩节，朗顿来到了距波多里科首府圣胡安四十英里之外丛林中的加勒比海灵长类研究所。

结果这并不是一个令人满意的工作。朗顿确实非常喜欢猴子。在实验过程中他每天花八到十小时监视它们，着迷地观察它们的文化，以及如何将这文化传给下一代。但很不幸的是，灵长类研究所的人的表现太像他们所观察的猴子了。朗顿说：“我们的有一个实验是了解猴群的社会制度是如何对紧张局面作出反应的。所以我们给一只在等级制度中有点地位的猴子吸了点儿大烟，然后观察当这只猴子不能尽职时这个等级制度会做出何种反应。”比如说，最高等级的公猴应该负责恐吓其它猴子、与所有母猴交配、解决争端、追逐某些不守规矩的猴子。所以当它不能完全负起责任来时，它的统治区就会分裂成各个派系。其下层领导对头领猴子仍然非常恭敬，但时不时也会对它发起进攻，然后又迅速撤退。你可以看到它们在尽力支持他的工作，但这样做必须负有头领猴子的责任，可头领猴仍然在位，所以就产生了一种滑稽的紧张局面。

“而灵长类研究中心的负责人是个彻头彻尾的酒鬼。他一大早起来就喝上一加仑血色马利丝酒，然后一天都醉醺醺的无法正常工作，不能发挥作用。所以职员们就无法得到展开工作的允许，但却又必须工作。所发生的所有这些争端都是：‘这事你应该和我商量！’、‘我本来可以用我用来观察猴子的这些数据单的。’、‘掀开研究中心的顶盖。’简直和猴子实验的情况别无二致。研究所分裂成几个派系，发生了某种革命，我参与的那个派系最后遭到惨败，我被告知离开那里，我也正准备离开那里。”

在波多里科呆了一年后又茫然不知所措的朗顿认识到,现在该是认真考虑生活的时候了。“我不能总是四处游荡,过一天算一天,没有任何长期发展的打算了。”但到哪里去呢?他寻思,不知那种神秘的感觉是否能给他一些启示。在波多里科,他一直在寻思这个问题,他开始想,也许,仅仅是也许,他能够寻着这个踪迹发展:选择宇宙学和天文物理学。

“在灵长类研究中心时我没有上计算机操作的资格,所以我没有做过任何能够说得上来的计算机工作,但我做了大量的阅读,”他说。宇宙的起源、宇宙的结构、时间的实质——这一切似乎正是他所追寻的感觉。“所以当灵长类研究中心情况恶化后,我就回到了波士顿,开始在波士顿大学修数学和天文学课程。”

当然,他以前学过不少数学。但朗顿想,一个好办法就是从零开始。“我以前对学习根本不予重视。我上学并不是因为我想去学校,而是因为必须这样做。就像是中学的牙膏管里被挤到大学的牙刷上!”经济能力上的限制使他只能以旁听生的资格每次选修几门课程,课余为挣钱打过各种工。但他全身心地投入到了学习之中,学得非常好。最后,一位已经和他成为好朋友的教师对他说:“听着,如果你真想从事天文学研究,就去亚利桑那大学。”波士顿大学在许多学科上确实不错,但亚利桑那是世界上的天文学之都。位于图森的大学正好在索诺拉沙漠中间,在那儿有最澄澈、最爽朗、最透彻的天空。山顶上的天文望远镜圆顶就像蘑菇一样散布在四处。基特山顶的国家天文台距学校仅四十英里,其总部就设在校园内。你应该到亚利桑那大学去。

朗顿觉得很有道理。他向亚利桑那大学提出了入学申请,于1975年秋季被接受入校。

朗顿说,他在加勒比海学会了潜水,他喜欢潜游于珊瑚和鱼群的三度空间。这令人如痴如醉。但当他返回波士顿后就发现,潜游于新英格兰的冰冷的棕色海水中滋味就大不一样了。所以他就改为玩悬挂式滑翔机。他第一天就玩得入了迷。飘浮于大地之上,在一阵阵热气流的推助下缓缓上升,这是三度空间的极致境界。他变成了一个滑翔机狂,买了自己的悬挂式滑翔机,把每一分钟业余时间都用到了滑翔机上。

这就是为什么在1975年初夏,朗顿和几个玩悬挂滑翔的朋友一起出发去图森的原因。这几个伙伴有一辆车,前往圣地亚哥。他们计划用几个月时间,以最

慢的速度周游全国，碰到合适的山就停下来滑翔一番。于是他们就这么做了，从阿泊拉切山脉出发，一直抵达北卡罗莱纳州的祖父山。

祖父山最高的山峰是蓝岭，其山脉风光无限。事实上，它是一个私人拥有的旅游圣地，也正好是非常合适的滑翔地。“如果风力合适的话，你可以在空中飘悬数小时！”朗顿说。确实，当山的主人意识到，在旅游者观看这些疯子藐视地球引力的时候他可以卖出多少热狗和汉堡包时，他就以每天仅收二十五美元的诱惑邀请朗顿他们在这儿呆上一个夏天。

朗顿说：“我们不太可能找到比这儿更合适的地方了。”所以他们就同意住了下来。作为一个旅游圣地，山主此招大获成功。与此同时，山主自己对悬挂滑翔也发生了浓厚的兴趣，准备于夏末在祖父山筹办一个全国性的悬挂式滑翔比赛。朗顿觉得，如果他参加比赛，就可以利用地利之便，所以整个夏天他都留在那里进行练习。

意外事故发生在8月5日。那时他的朋友们和他们的汽车早就离去了，他也打算第二天离开这里。他准备先去图森报到，然后在课程开始之前再回到祖父山来参加比赛。但现在，他想再练习一番定点着陆。在做定点着陆时，你必须准确无误地降落在指定地点。

所以他就开始做这一天的最后一次练习。定点着陆的整套动作得非常协调。因为所定目标是树丛中的一小片空地，要做到定点着陆的唯一办法就是升到一定的高度，然后用几乎失速的速度盘旋而下。但那一天的风力不予配合，让人提心吊胆，似乎不可能成功。朗顿已经失败了四次了，已经感到非常沮丧了。这次是他参加比赛前的最后一次练习。

“我记得我在想：‘见鬼，我滑得太近、太高了，但不管怎样我也得试试。真是见鬼。’然后我就落到了树以下的高度，离地面大约有五十英寸，我陷入了静止不动的空气中。我太慢了，失速的高度也掌握得不对。我记得我当时想：‘真他妈的见鬼？’我意识到我会摔下去，会摔得很惨，我记得我想：‘上帝，我会摔断一条腿，真他妈的！’”他在绝望的挣扎中极力控制速度，控制滑翔机，把滑翔机变成俯冲式，但不行，于是他就按训练时所学的那样伸出双腿来承受震荡。“你知道，你会摔断双腿，但却不能把腿缩回来”因为如果你屁股撞到地面，就会摔断脊梁骨。

“我不记得怎样撞到了地面，那时我已经失去了记忆。但我确实记得我躺在那儿，知道自己摔得很惨，得躺在那儿不能动弹，我的朋友们跑了过来，在山顶上听到这事的许多人也跑下了山。山主在拍照片，持有对讲机的某个人叫了救护车。我记得过了很久救护人员才出现，问我：‘哪儿痛？’我说：‘全身都痛。’我记得他们互相咕哝了些什么，然后把我抬上了担架。”

救护车将朗顿送到了山下最近的急救站，小小的班奈埃尔克的加能纪念医院。过了很久，他记得他半神志昏迷地躺在特护室里，听到护士们对他说：“哦，你摔断了双腿，必须在这儿呆上几周，然后就可以离开这儿，和以前一样到处跑了。”

他说：“当时我打了吗啡，所以相信了她们的话。”

事实上，朗顿被摔得零七八碎。他的头盔保护住了他的头颅，他的双腿起到了坐垫的作用，保护住了他的骨盆。但他摔断了三十五根骨头，摔断了双腿、双臂，几乎将他的右臂摔得错了位。他摔断了大多数筋骨，摔坏了一扇肺。他的双膝被摔得撞到了他的脸上，摔坏了一个膝盖、脸颊、以及他身上几乎所有的部件。朗顿说：“我的脸基本上被涂满了药膏。”他的眼睛不会转动了，脸颊骨和眼睛凹骨也摔裂了，无法支撑眼睛。他的大脑也被摔得不太对劲了。由于摔伤了脸部而导致了严重的内伤。“他们在急救室给我做了许多接骨手术，往我的肺里充气。”朗顿说：“直到过了应该正常苏醒的一天之后我还没有苏醒过来。他们担心我变成了植物人。”

最后他终于醒了过来。但把他的全部零部件都修补好却花费了很长时间。他说：“我有一种看着自己的思维恢复正常的奇怪感觉。我能看到我自己像一个被动的观察者，我的知觉被撞得七零八碎，这使我想起了虚拟计算机，或就像在观察生命游戏。我可以看到那些七零八碎的模型自我组织、恢复原状，以某种方式回复到原来的那个我。我不知道如何用一种客观可考的方式来描述这个情形，也许是他们给我注射的吗啡造成了我的这些幻觉，但这就好像是你打散了一个蚂蚁王国，然后看着蚂蚁又不断聚拢起来，重新组织和建立它们的王国。”

“我的大脑也是以这个绝妙的方式进行重新建设的。但我能够分辨出，在许多方面，我的思维与原来不同了。有些特点消失了，虽然我说不出消失的是什么。这就像计算机出了毛病：我可以看到我的运作系统正在不同层次形成，每一个层

次的功能都强于以往。我会在一个早上醒来，就像中了电击一样，然后我会摇晃着脑袋，感到就像突然站到了一个很高的高原上。我想：‘嘿，我恢复了！然后我发现我并没有真的恢复。然后，在今后某个时间里，我又重新经历了一遍这样的体验——我恢复了？还是没有恢复？’这个问题直到今天我都搞不清楚。几年前，我又经历了一次这类的事情，是一个非常重大的事件。所以，谁知道呢？当你在一个层次上的时候，你并不知道更高层次上的事情。”

朗顿的事故是班奈埃尔克医院接到过的最严重的一起。这个医院更习惯于接受出了枪伤和滑雪摔伤的伤员。更严重的是，朗顿从头到脚都在做牵引，绝对不能移动。但朗顿确实某一方面运气不错。加能纪念医院的主人，也是该医院创建人之子劳森·泰特医生在来该医院就职之前在许多著名医学院学过医，是全国最高水平的矫形手术专家。在后来的几个月中，他为朗顿重建了被摔坏的脸颊骨，嵌入了一些用来支撑的塑料片来重建朗顿的眼窝，重新打开了穴位，重修了他的脸部骨头。他用朗顿屁股上的皮肤修补了朗顿破碎的膝盖。接好了错位的右肩，这样神经就能在瘫痪的胳膊上重新长好。到1975年圣诞节，朗顿终于飞往离他父母所在的林肯很近的麻省康考德的爱默森医院。泰特已经为他做了十四次矫形手术了。朗顿说：“那儿的医生都十分惊讶，一个人怎么能够忍受做这么多次手术。”

在康考德，朗顿终于恢复到能够开始练习如何重新使自己的身体运动自如，这是一段漫长的过程。“我已经有六个月只能平躺在床上，”朗顿说，“很多时间全身都被上了石膏，连下颚都用金属线固定住了。体重从一百八十英镑骤减到一百一十英镑。那整段时间我没有做一点儿身体康复锻炼。所以在那段时间身体发生了很大的变化。你会失掉所有的肌肉，肌肉就这么不见了。你所有的韧带和肌腱都绑紧了。你变得全身梆硬，因为如果你的关节不是经常曲屈运动，保护关节部位留有一定的活动空间的话，四肢关节就会长满一种物质，偷偷取代疲乏的软骨，直到四肢关节再也没有可以活动的空隙。”

“所以我就变得像一个鬼一样难看的厌食者。当然，因为我的上下颚都被用金属线固定住了，所以控制上下颚的肌肉组织都萎缩了。我用了很长时间才能将嘴巴张开至大约一英寸。吃东西非常困难，嚼东西也十分困难。而说话，我几乎是咬牙切齿地说话。我的脸变得很滑稽。我的脸颊本来应该饱满地鼓出来，但现

在却深陷了下去。所以我的脸看上去就像一张鬼脸。我的眼窝的形状也大不一样了，直到现在也是这样。”

爱默森医院的理疗师们训练朗顿起来行走，尽力恢复他右臂的功能。他说：“我主要是通过平躺在床上弹吉它来重新使右臂康复的。我强迫自己这样做。我不在乎会发生别的事，但我不能从此不能弹吉它。”

同时，朗顿阅读他所能企及的所有科学书籍。在班奈埃尔克，当他的眼窝被矫正到位，他看东西刚刚不再有重影后，他就开始阅读科学书籍了。“我要人给我寄书，书籍用卡车运给我，我狼吞虎咽地阅读着。有些书是关于宇宙学的。我还看数学书，解数学题。但我也大量泛读思想史和生物学方面的书。我读到了刘易斯·托马斯的《一个细胞的生命》。我也读了许多科学哲学和进化哲学方面的书籍。”他说，他并不真能做到全神贯注地钻研书籍。班奈埃尔克的医院给他服用了抗忧郁剂和度冷丁止痛剂，足以使他完全麻醉其中。而且，他的神志仍然处于一种重新组合的怪异过程之中。“但我就像一块海绵一样，对生物学、物理学、宇宙的概念、以及这些思想是如何随时间改变等问题做了大量的泛泛思考。然后还有我一直在谈论的这种感觉。在对所有这些的思考中，我一直在跟踪这种感觉，但没有找到任何方向。宇宙学和天文学似乎符合这种感觉，但对它们我基本上一无所知。我仍然在寻找，因为我尚不知其所在。”

人工生命

当朗顿最后终于在 1976 年秋季到图森的亚利桑那大学上学时，虽然他的膝盖和右臂还需要手术，但他已经能够杖拐跛行了。他是一个二十八岁的大学一年级学生，跛行而脸色死灰，他自己都感到自己很怪异，就像正在野外演出的马戏团里跑出来的小丑。

“这很怪异。因为亚利桑那大学的大学生联谊会和女大学生联谊会里都是些漂亮的人儿。而且，我的神志状态也并不很好，我经常发现自己神志涣散，无论在什么样的谈话中我都会走题，我突然意识到我根本不知道人们的谈话从何而起。我能够保持注意力的时间非常有限。所以我感到我的神志和我的身体都很离奇。”

但另一方面,亚利桑那对朗顿而言确实有非常好的一面,那就是大学的医院,以及第一流的理疗措施和康复运动。朗顿说:“大学的理疗法真使我受益匪浅。大夫坚持让我不断努力,取得进步。我看到必须通过关口,必须经历一场接受自己目前现状的转变,并从这儿开始努力,不应该对此抱不良感觉,而要对自己的进步感到高兴。所以我决心接受这种放逐感和怪诞感。在课堂上我仍然会回答问题,虽然有时我的回答会离题,让人感到有点怪怪的。但我仍然不断努力。”

不幸的是,虽然他的大脑和身体都在逐渐康复,但朗顿发现亚利桑那并不是一个学习天文学的理想圣地。他从来没有打听过一个天文学之都是否设置天文学本科课程。这个大学确实有天文学博士学位课程。但要达到进修博士课程的水准,本科生就必须先学物理学,毕业后再转为天文学。但对朗顿来说,唯一的问题是,亚利桑那大学的本科物理学不灵。“本科物理学科的组织完全处于混乱状态。教本科物理学的教师们没一个会说英文。实验室的科目非常原始,设备也不配套。谁也说不上来我们应该学些什么。”

好在他并不后悔。亚利桑那大学的哲学系非常好,哲学很吸引朗顿,因为他对思想史非常入迷。亚利桑那大学还有一个同样优秀的人类学系,这个学科也非常吸引朗顿,因为他很喜欢灵长类研究中心的猴子。第一个学期,他就选修了这两个系的课程,来完成校方对综合学科学分的要求。

这样的选择至少也是个奇怪的混合。但对朗顿来说选择这两个系的课程却是个再好不过的组合了。当他步入韦斯利·赛尔蒙(Wesley Salmon)的科学哲学教室的时候就感觉到了这一点。“赛尔蒙对这门学科有很好的见解。”朗顿说。他不久就要求赛尔蒙做他的哲学课程的导师。“赛尔蒙是维也纳圈中的哲学家汉斯·里汉巴奇(Hans Reichenbach)的弟子。这些哲学家研究的哲学带有非常强的技术性,他们研究的是关于时空的哲学、关于量子的机制、以及关于地球引力对时空的弯曲。我很快意识到,我更感兴趣的不是对这个宇宙的某种特殊的和流行的观点的了解,而是我们的世界观是如何随时间的推进而演化的。我非常感兴趣的是思想的历史。而宇宙学只凑巧是对此进行研究的最佳通道之一。”

同时,在人类学系,朗顿听说了人类丰富多采的行为规范、信仰和习惯、文明的兴衰、人类的起源和三百万年的逐步演化。确实,他的人类学系的导师史蒂芬·泽古拉(Stephe Zegura)是一个非常出色的教师,同时又是一个非常优秀

的人，对进化学理论功底颇深。

朗顿说，所以，在各个方面“我都得以浸淫于信息进化的概念之中。这很快就成为我的主要兴趣，非常合我的胃口。”确实，他的那种神秘感觉这时起了压倒一切的作用。他说，不知为什么，他知道他已经快要寻到他的那种神秘感觉的踪迹了。

朗顿最喜欢的漫画之一是格雷·拉森 (Gary Larson) 的《在远方》(The Far Side)。这幅漫画表现了一个装备完善的登山者正要下降到地面上的一个巨大无比的洞穴。一位记者手持麦克风喊到：“因为那洞根本就不在那儿！”

“那正是我的感觉，”朗顿笑道。他说，他越学习人类学，越觉得这门课有一个很大的裂缝。“人类学基本上是一个一分为二的学科。一方面是完整而清晰的对生物进化的化石记录，附之于严谨而完整的达尔文理论体系作为诠释。这个理论包括了信息编码，以及信息代代相传的机制。另一方面是人类学家所发现的，对文化进化的完整而清晰的化石记录。但研究人类文化的人不会去思考、讨论关于化石记录的理论，甚至不会去听这类的理论。他们好像是在故意回避对这方面的研究。”

给朗顿的印象是，文化进化的理论仍然保留了 19 世纪以来的社会达尔文主义的烙印。当时人们以“适者生存”为理由，来为战争和社会不公辩护。而他当然可以看到其问题之所在。毕竟，他这一生的大多数时间都在反对战争和社会不公，他就是无法接受人类学上的这个裂缝。如果你能创建真正的文化进化理论，以此反对为现状辩护的伪科学，那你也许就能了解文化究竟是如何发展的。重要的事情是，要对战争和社会不公有所行动。

现在，他有了一个值得追求的目标。更重要的是，他找到了感觉。朗顿意识到，这不仅仅是关于文化进化的问题，也是关于生物进化、知识进化、文化进化、关于概念的组合、重组、以及概念在人类思维上跨越时空的传播的问题，这是所有这一切的组合。在最深的层次上，这些都是同一件事的不同方面。还不止这些，它们就像“生命游戏”，或从这个意义上来说，就像他自己摔成散乱片断的心智。这里有一种凝聚力，这是一个关于所有的元素逐渐聚拢，然后演变出结构、再演变出有能力成长和生存的复杂体系的普通故事。如果他能够学会从一个正确的方式来研究这种凝聚力，能够把它的运作规则抽象成某种正确的计算机程序，那么

他就有可能抓住进化的所有重要特点。

“事情最终在我头脑里汇聚成一个完整的概念。”但这还只是一种想象，一种还无法陈述清楚的想法。“但这是驱动我的唯一的力量，是我一直在思考的问题。”

1978年春，朗顿把他的想法写成一篇二十六页的论文，题目是：“信仰的演化”。他的基本观点是，生物和文化的进化是同一个现象的两个不同的方面。文化的“基因”是信仰，信仰反过来又被记录在文化的基本“DNA”上，即语言上。他说，现在回想起来，那篇论文是个相当天真的尝试。但那是他的宣言，也是他选择攻读跨学科的、自己设计的博士学位题目的提议。这个提议能够让他对这个问题展开研究。而且这篇论文已足以说服他的人类学系课程的导师泽古拉。“他确实是一个非常好的人，也是一个出色的教师，一个相信我的人。”朗顿说。“他是当时唯一能理解我在说什么的人。他当时的态度是：‘按你想的干吧！’”但泽古拉也提醒他说，攻读这样一个特殊的博士学位，必须还要从其它学科邀请指导老师。泽古拉作为一个物理人类学家，无法同时在物理、生物学和计算机科学上也给他提供指导。

所以朗顿在亚利桑那大学读本科四年级时开始四处物色合适的导师。“这时候我开始把我的想法称为‘人工生命’，它或多或少类似于人工智能。”他说。“我得给它取一个精确洗练的名字，让人们一看就明白其研究范围。大多数人或多或少都知道一些人工智能。人工生命就是尽力像人工智能抓住和模仿神经心理学一样抓住和模仿进化。我不是要准确模仿爬行动物的进化，而是想在计算机上抓住进化的抽象模型，为此展开实验。所以我用‘人工生命’这个词组，起码可以向人们敞开了解该项研究的大门。”

但不幸的是，朗顿总是一张口就吃闭门羹。他说：“我和计算机科学方面的人谈过，但他们不知道我在说什么。他们的领域的谈话内容是编程、数据结构和计算机语言。他们甚至连人工智能都不研究，所以计算机领域里甚至没有人能够愿意听我谈。他们点看头说：‘你的想法和计算机没有任何关系。’”

朗顿在生物学家和物理学家那里遭到了同样的冷遇他说：“我一直受到类似把你当疯子看待的眼光。情况使人非常沮丧，特别是在我受伤之后，我无法确信我在做什么，我是谁。”客观地说，朗顿到那时已经取得了巨大的进展，他不但

能够集中注意力，而且身体强壮，一口气能跑五英里。但他仍然觉得自己很怪、很难看、头脑不健全。“因为我的神经系统紊乱，我搞不清楚自己的状况究竟如何。我对自己的思路再也不敢确信。所以这次我对自己的想法也没有把握。没有人理解我在说什么，这种情形对恢复我的自信没有丝毫的帮助。”

但他仍坚持努力。他说：“我觉得这是我喜欢干的事。我愿意不断推动事情的进展，因为我知道我认准的这个研究方向与我在发生事故前神志清醒时和正常时所思考的问题有关系。那时我对非线性动力学一无所知，但我对涌现的特点、对各个部分的相互作用、对许多单个因素无法做到，但集合为集体就能做到的那些事情却有很强的直觉。”

不幸的是，本能不能解决问题。到大学四年级结束时，朗顿不得不承认，所有这些努力都白费了，他陷入了困境。泽古拉很支持他，但泽古拉无法独自一人承担指导朗顿的责任。他只能撤退，重组力量。

就在这期间，1979年12月22日，朗顿和爱尔维拉·色格拉(Elvira Segura)，一位活跃好争、谈吐直率的图书馆学硕士生结婚了。他们是在史蒂夫·泽古拉的人类学课上相识的。“刚开始的时候我们只是好朋友，后来事情就发展了下去。”1980年5月，他以双学位毕业，主要因为他积累了太多学分，所以校方坚持授予他双学位。他毕业后就和爱尔维拉搬进了学校以北的一个租来的双卧室的房子。

他们的生活暂时很稳定。他妻子在大学图书馆谋到了一个很不错的职位。朗顿自己在做双份小时工。他在一个家庭装修公司做木匠，他觉得这份活儿有很好的锻炼疗效，他还在一家彩色玻璃店当伙计。确实，他性格中的某一部分让他很满足于就这么一直干下去。他说：“好玻璃有自己的生命。你可以把许多小块的玻璃拼成一起，合成一个完整世界的效果。”但朗顿也知道他必须做出严肃的抉择，而且越早越好。他在泽古拉的支持下已经被大学人类学系录取为研究生了，但是还没有获得专攻交叉学科的人工生命的准予。这意味着，他要浪费很多时间来修那些他不想修、或不需要修的课。所以，他是不是应该干脆完全放弃对人工生命的研究？

这绝不可能。“我现在已经醒悟了，就像已经改变了宗教信仰。我知道我必须走下去，必须在这个领域攻读博士学位。只是对走什么途径还不太明确。”

他决定，他要做的是弄一台计算机来，用计算机来清楚地陈述自己的思想。这样，他就能谈论人工生命了，起码能向人们展示他的一些想法了。所以他向彩色玻璃店老板贷了一笔款，买了一台苹果二型个人电脑，把它支在了小卧室里。他还买了一台小彩电来当计算机监视屏。

“我一般都是晚上上机工作，因为白天我必须去上班。我基本上每夜都熬到两三点钟。不知是什么道理，我的脑子总是在夜晚这段时间最活跃、最清醒，我的思维也是在夜晚最自由、最富创造性。我会醒过来，脑海里盘旋着一个想法，于是我就会从床上起来，尽力捕捉这个想法。”

他妻子对此并不高兴。他会听到她从另一间卧室传来的声音：“回来睡觉！明天你会累坏的！”今天回想起来，爱尔维拉认为朗顿当初这么熬夜是值得的。但当时她对丈夫把家当作办公室的做法非常恼怒。对她来说，这所房子是家，是一个家庭所在，是逃离外界的归隐之处，但她同时也很明白，朗顿需要这么做。

朗顿最初对人工生命研究的尝试极其简单：只是一个比一列基因表复杂不了多少的“生物体”。“这个表上的每一个条目都是这个生物体的一个基因类型，比如，这个生物体的寿命有多长？多久产生新一代？是什么颜色的？它存在于空间的何处？然后还有一些环境问题，好比鸟儿飞过，捡起背景中显得过多的东西。生物就这样演化，因为当他们繁衍后代时，就会有变化的机会。”

起初，当朗顿完成了这个程序，看到它能够运作了，感到非常高兴。生物体确实在演化。你可以看到它们的演化过程。但他很快就泄了气。“整个演化都是线性的。”他说。生物体在做着明白无误的事情。它们不会演化到超出他的理解之外。他说：“这不是真正的生物体。我的这个基因表是被外在的上帝——程序——所操纵的。繁衍如神话般地发生。我所需要的是更封闭的过程——这样繁衍的过程会自动发生，成为基因类型本身的一部分。”

在不知道从何开始做起的情况下，朗顿认为应该去亚利桑那大学图书馆，在那里进行一番计算机知识方面的阅读。他试图用“自我繁衍”这个关键词找到有关书籍。

“我抱回了大量这方面的书籍！”他说。其中有一本参考书立刻引起了他的注意：由约翰·冯·诺意曼撰写、勃克斯编辑的《自我繁衍自动机理论》。还有一本，《细胞自动机论文集》，也是这个叫勃克斯的家伙编辑的。另外还有一本发

明了相关数据库的泰德·考德 (Ted Codd) 撰写的《细胞自动机》。这类的书有很多很多。

“哇！这就对了。当我发现这些书时，我对自己说：‘嘿，也许我是疯了，但这些人起码和我一样疯狂！’”他读了冯·诺意曼、勃克斯、考德的书，以及所有他能在大学图书馆发现的这方面的书籍。没错！都在那儿呢：进化、生命游戏、自我集合、涌现的繁衍等所有这一切。

他发现，冯·诺意曼从四十年代末开始就对自我繁衍的问题发生了兴趣。当时他和勃克斯、戈德斯坦已经设计出了可编程的数字化计算机。当时可编程的计算机这个概念还很新奇，数学家和逻辑学家都渴望了解这种可编程的机器能干什么，不能干什么，这个问题几乎是不可回避的：一台机器能通过编程来复制自己吗？

冯·诺意曼会毫不犹豫地给予肯定的回答，起码在原则上他认为回答应该是肯定的。毕竟植物和动物已经自我繁衍了几十亿年了，在生物化学这个层次上，动植物不过像星球一样遵循着同样的自然规律。但这一事实并不能给予他很大的帮助。生物的自我繁衍极其复杂，包括基因、性、精子和卵子的结合、细胞分裂和胚胎发育，更别说具体而详细的蛋白和 DNA 的分子化学了，这些在四十年代几乎完全不为人们所了解。而机器则显然没那么复杂。所以，冯·诺意曼在能够回答关于机器的自我繁衍的问题之前，他必须将这个过程简化至其本质，其抽象的逻辑形式。也就是说，他必须在头脑中形成程序员在许多年以后建造虚拟机器时的那种概念：他必须撇开具体的生物化学机器，找出自我繁衍的重要特点之所在。

为了找到对这些问题的感觉，冯·诺意曼先做了一个思维实验。他说，想象一台机器飘浮于一个池塘的水面，这个池塘里还有许多机器的零部件。接着，再想象这台机器是一个宇宙建设者：只要给出任何一台机器的描述，这台机器就能在池塘中一直划到寻找到制造机器所需要的合适的零部件，然后就制造出了这台机器。特别是，如果向它描述一下它自己，他就能复制出自己来。

冯·诺意曼说，这听起来像自我繁衍了。但却还不是，起码，还不完全是。新复制出来的机器的零部件全都很合适，但它不会描述自己，这意味着它不可能继续拷贝自己。所以冯·诺意曼同时也假定，最初的机器应该具有一个描述复印

机：即对下一代机器的复制性描述。他说，一旦发生这种情况，下一代就具有了无穷无尽进行繁衍的条件。然后就有了自我繁衍。

冯·诺意曼对自我繁衍的分析作为思维实验来说是非常简单的。如果我们用更正式一点儿的方式重申的话，冯·诺意曼说的是，任何自我繁衍系统的基因材料，无论是自然的还是人工的，都必须具有两个不同的基本功能。一方面，它必须起到计算机程序的作用，是一种在繁衍下一代的过程中能够运行的算法。另一方面，它必须起到被动数据的作用，是一个能够复制和传给下一代的描述。

这个分析结果变成了一个令人震惊的科学预测：几年以后的 1953 年，华生和克拉克终于拆解开了 DNA 的分子结构之谜。他们发现这个结构正好完全具备冯·诺意曼所指出的两个基本要求。作为一个基因程序，DNA 编入了制造细胞所需要的酶和结构蛋白的指令，作为一个基因数据仓库，DNA 的双螺旋结构在每次细胞分裂为二时都能解开和自我复制。进化以令人羡慕的节俭方式将基因材料的这种双重本质嵌入了 DNA 分子本身的结构之中。

但还有其他的情况。当时冯·诺意曼知道，光有思维实验是不够的。他的关于在一个池塘里的自我繁衍机器的想象仍然太具体，与过程的具体材料绑得太紧了。作为一个数学家，他需要非常正式和完全抽象的理论。结果就有了后来被称为“分子自动机”这个形式的理论。这是他的同事，住在罗萨拉莫斯的波兰数学家斯坦尼斯劳斯·乌兰建议的。乌兰自己也一直在思考这些问题。

乌兰建议的是约翰·康卫二十多年前发明生命游戏时所用的框架。确实，康卫当时非常清楚，生命游戏只不过是分子自动机的一个特例。乌兰对冯·诺意曼的建议是，最根本的是要想象一个可编程的宇宙。在这个宇宙中，“时间”被定义为宇宙之钟的滴答声，“空间”被定义为一个一个分离的细胞格。每一个细胞都是一个极为简单的、定义抽象的计算机，一个有限的自动机。在任何一个时间和任何一个细胞中，自动机都会只存在于无限状态中的唯一一种状态中，它可以被想象成是红的、白的、蓝的、绿的、黄的，或 1、2、3、4，或死的、活的，或不管什么。而且，宇宙之钟每滴答一次，自动机就会转入一种新的状态，这种新的状态是根据其当前的状态以及其邻居当前的状态所决定的。宇宙的“物理规律”因此就会被编入其转换表内：就是能够告诉每一个自动机根据其邻居可能转换的状态做出改变。

冯·诺意曼喜爱这个分子自动机的概念。这个系统简单抽象到能够进行数学分析，但又能丰富多采到足以使他能抓住他正尽力想弄明白的过程。而且这又正好是一个你可以实际在一台计算机上模拟的系统。起码从原则上来说是可以这么做的。1954年，冯·诺意曼死于癌症，未能完成他对细胞自动机的研究，但应邀编辑冯·诺意曼在这项研究上的所有论文的勃克斯后来编辑了他的成果，并填补了冯·诺意曼尚未来得及完成的细节，于1966年以《自我繁衍自动机理论》为名结集出版。该书的要点之一是，冯·诺意曼证明了起码有一种确实能够自我繁衍的分子自动机模型的存在。他发现的这个模型极其复杂，要求大量的细胞格，而且每一个细胞有二十九种不同的状态。这是任何现有计算机的模仿功能都无法胜任的。但这种自动机确实存在的事实回答了根本的原则问题：一旦将自我繁衍看作是有生命的物体的独一无二的特征，那就能让机器也做到这一点。

朗顿说，当他读到所有这一切时，“他突然感到自信心大增。我知道我的思路没有错。”他返回到他的苹果二型计算机上来，很快编写出了一个一般性功能的分子自动机程序。这个程序能够使他在屏幕上观察彩色方块格的分子世界。苹果机只有64千字节分存储量意味着，他只能把每个分子的状态限制在不超过八种，根本达不到冯·诺意曼的二十九种自我繁衍状态的要求，但却仍然有在这种限制下找到一个自我繁衍系统的可能性。朗顿运行了他编的程序，以此来尝试他想要的任何状态和任何转变表。他的程序中的每一个细胞都有八种状态，这样他就只能得到十的三万次方的不同基因表的可能性。他着手尝试。

朗顿早就知道，他的探索并不像表面看上去那样毫无希望。他在阅读中发现，泰德·考德(Ted Codd)已经在十多年前就发现了一种具有8种自我繁衍状态的模型。那时泰德·考德在密西根大学读研究生，在一个叫作约翰·荷兰德的家伙手下干活。由于考德的类型对苹果二型机来说仍然太复杂了，朗顿就想，也许通过对付这个模型的各个部分，他能够在这种限制下找到比较简单的操作方法。

朗顿说：“考德的自我繁衍状态的所有部件都像是数据途径。”那就是，考德的系统八种状态中的四种起的是数据的作用，另外四种状态起到各种辅助作用。特别是，一种状态起导体作用，另一种状态起绝缘体作用，这样共同组成让数据能够在细胞之间流动的渠道，就好像铜线一样。所以朗顿从考德的“周期性发射体”结构开始入手：这基本上就是一个回路，有一位数据就像钟表的分针一样在

其间不断转圈，同时，回路的侧面长出某种手臂，周期性地发射出在回路中绕圈的数据的复制品。然后朗顿就开始模拟这个发射体，在其手臂上扣了顶帽子，这样信号就不会跑掉了，他用加上第二个环绕信号的方式来做这顶帽子，并把规则表扭曲过来，让它永远这样。他知道，如果他能使手臂伸出去，再向里弯过来，形成和第一个一样的回路，他就算做成功了。

这个实验进展得非常缓慢，朗顿每夜只工作很少几个小时，他妻子爱尔维拉已经尽力耐住性子了。朗顿说：“她关心我所感兴趣的事和我认为会发生的事，但她更关心的是：我们该怎么办？我所做的这些能给我们带来什么结果？这些事对目前家庭状况的进展会起到什么作用？这两年我们会在哪里？而这很难解释。你已经做了所有这一切，而你所做的这一切又会怎么样呢？我并不知道，我只知道这很重要。”

朗顿只能坚持不断努力。“我不断在这儿取得一点儿进展、在那儿取得一点儿进展。我先开始制定规则，然后完善它，再完善它，然后就把我自己逼到了死角。保留的规则表灌满了十五张软盘，这样我就可以在备份后再从另一个角度开始。所以我不得不非常小心地记录什么规则产生什么样的行为，改变了什么，我又备份了些什么，在哪一张软盘上做的备份。”

从他最初读到冯·诺意曼到他最终得到他所想要的结果，一共花了两个月左右的时间。他说，有一天晚上，所有的部分终于汇聚到了一起。他坐在那里看着那些回路伸出手臂，又弯过来，形成新的、与前一个同样的回路，然后又继续形成更多的一模一样的回路，这样无限继续下去，就好像生长着的珊瑚礁。他创造出了目前最简单的自我繁衍分子自动机。“我激动得就像感情火山爆发。这是可能的，它真的发生了。这是真的。现在进化具有了意义。这不是外部程序操纵表格的结果。这是自闭的，其生物体本身就是程序。它是一个完整的体系。我一直在思索的这些事，一直觉得如果我尝试就有可能证实的这些事，现在已经证明了是可能的。这就像可能性的一次塌方，像推倒了多米诺骨牌，然后骨牌就不断倒下，不断倒下，一直倒下去。”

混沌的边缘

朗顿说：“我的性格中有机械师的倾向，我总是想摆弄点什么，把它们组合起来，看到它运作。一旦我真地拼成了某东西，任何疑虑就会随之消失。我可以看到人工生命从这儿开始。”他非常清楚：既然他现在已经诞生了细胞自动化世界的自我繁衍机制，他就得进一步要求这些模型在自我复制前能够执行某种任务，比如像找到足够的能源，或一定数额的合适的组合部件。他必须建立很多这类的模型，这样它们之间就能相互为争夺资源而展开竞争。他必须使它们具有四处周游、相互感觉的能力。他必须允许各种变化的可能性，允许在繁衍中出现错误。“所有这些都是需要解决的问题。但现在一切都还不错。我知道我能够在冯·诺意曼的世界里嵌入进化的机制。”

朗顿在获得了这个自我繁衍的分子自动机后，就重返校园，开始了新一轮的努力，力争获得攻读跨学科的博士学位的支持。他会指着屏幕上不断展现的结构告诉人们：“这就是我想研究的。”

但仍然不成功。他得到的反馈比最初还要冷淡。他说：“到了这个阶段，有太多的东西需要向人们解释。但人类学系的人不了解计算和周期，更别提分子自动机了。‘这和录像的把戏有什么区别吗？’他们问。而计算机科学系的人对分子自动机也一无所知，对生物学也没有丝毫兴趣。‘自我繁衍和计算机科学有什么相干吗？’他们问。所以，当你力图描绘整幅图景时，嘿，你在人们眼中就会像一个不折不扣的、喋喋不休的白痴。”

“但我知道我没有疯，”他说。“现在我觉得我的神志非常正常，比别人还要正常。事实上，我担心的正是这一点。我相信疯子都会有这种感觉。”但不管朗顿的神志是否正常，他在亚利桑那明显没有取得任何进展，是另寻出路的时候了。

朗顿写信给他以前的哲学导师，现在已经转到匹兹堡大学任教的韦斯利·塞尔蒙，问道：“我该怎么办？”塞尔蒙在回信中提出了他太太的建议：“去向勃克斯求教。”

勃克斯？“我以为他已经过世了呢。他这个年代走过来的绝大多数人都已经过世了。”朗顿说。但勃克斯却在密西根大学活得十分健康。而且，当朗顿开始和勃克斯通信后，勃克斯就给予了他很大的支持，甚至安排他争取获得助教和助理研究员的经济资助。你提出申请吧，他写道。

朗顿立刻就提出了申请。那时他已经得知，密西根大学的计算机与通讯科学研究在他所追求的研究领域中享有盛名。朗顿说：“对他们来说，信息处理是可以跨越一切的学科，无论怎样的信息处理方式都值得研究。我就是冲着这一思想而申请去那儿的。”

不久以后，他收到了系主任吉顿·佛莱德（Gideon Frieder）教授的来信。他在信中写道：“很抱歉，你的背景不合适。”他的申请没有被接受。

朗顿火冒三丈。他写了一封长达七页的信给予反击。这封信的主要意思是，你们搞的什么鬼！？“这是你们声称自己生存和呼吸与共的整个哲学和目的，这也正是我所追求的。而你们又对我不？”

几个星期以后，佛莱德又给朗顿回了一封信，其大意是：“欢迎来我系。”他后来告诉朗顿：“我就是喜欢周围有人敢对系主任说‘不’。”

事实上，朗顿后来才知道，事情比这要复杂得多。勃克斯和荷兰德甚至都没有看见他最初的申请。由于各种官僚和财政的原因，这个花了三十年才形成的涉猎广泛的计算机与通讯科学系正要合并到电机工程系中去。而电机系的人对研究课题的看法要实际得多。这种预期使佛莱德和其他人正在淡化像“适应性计算机科学”这样的研究。勃克斯和荷兰德正在进行一场后卫战斗。

但不管朗顿幸运与否，他当时并不知晓这些。他只是对能被接受感到高兴。“我不能失去这个机会，特别是当我已经知道我做的没错的时候。”爱尔维拉也愿意他一试。确实，这样做她就必须放弃她在亚利桑那大学的工作，而且也远离了她在亚利桑那的娘家。但考虑到自己已经怀上了第一胎，她觉得能够利用朗顿的学生健康保险也不错。另外，尽管他们俩都喜欢西南部的气候，但觉得时不时看到密西根的乌云也蛮有意思。所以 1982 年秋天，他们启程北上。

起码在知识上，朗顿在密西根大学收获颇丰。他作为勃克斯的计算机史课程的助教，汲取了勃克斯亲历的早期计算机发展史料，协助勃克斯收集和展出了 ENIAC 机的一些最初期的硬件。他遇见了约翰·荷兰德，为荷兰德的集成电路课设计和开发了能够极快地执行荷兰德的分类者系统的芯片。

但大多数时间朗顿像疯了一样学习。正规语言理论、计算机复杂理论、数据结构、编辑构建，他系统地学习以前涉猎过的零星知识。他乐此不疲地学习。勃克斯、荷兰德和别的教授都要求甚严。朗顿在密西根大学期间，知道在一次博士

资格面试中，他们几乎给所有考生都打了不及格，不予转入博士候选人资格（失败者当然还有机会）。“他们会问你课程之外的问题，你必须做出聪明的回答。我真的非常喜欢这种学习方式。仅仅只是通过了考试与真正掌握了书本知识是很不相同的。”

但在学术政治领域，事情就没那么尽人意了。1984 年年底，当朗顿结束了课程，获得了硕士学位，通过了博士资格考试，正准备开始撰写博士论文时，他痛苦地发现，校方不同意他想基于冯·诺意曼世界之上进行人工生命的进化研究。勃克斯和荷兰德的后卫战以失败告终。1984 年，过去的计算机与通讯科学系被并入了电机工程学院。在以电机工程文化为主的新的环境中，勃克斯—荷兰德式的“自然系统”课程遭到逐步淘汰。（这种情况以前和现在一直是使荷兰德真正感到愤怒的少数几件事之一。他最初曾经是最赞同合并的人之一，相信自然系统的研究视角会被保留下来，而现在他感到好像被吞食掉了。确实，当时的这种状况使荷兰德对参与桑塔费活动产生了更大的积极性。）但勃克斯和荷兰德的勇猛精神使他们俩鼓励朗顿从事生物学性较淡些，而计算机科学性更强一些的博士课题研究。朗顿承认，从实际的角度考虑，他们确实言之有理。“那时我已经有了长足的见识，很明白冯·诺意曼的宇宙是一个极其难以建立并投入运作的系统。所以我开始寻求某种在一、两年中可以完成的研究课题，而不是要花几十年才能完成的课题。”

他想，与其去建立一个完整的冯·诺意曼式的宇宙，为什么不能只对其“物理学”做一点儿研究呢？为何不能研究一下为什么某些分子自动机规则表允许你建立很有意义的结构，而另外一些却不能呢？这起码是朝着自己的方向迈进了一步。这项研究也许既能满足计算机科学的硬性规定，又能满足工程学的要求。无论如何，它都可能产生与真正的物理学的某种有趣的关联。确实，分子自动机与物理之间的关联后来变成一个热门学科。1984 年，物理学界的天才史蒂芬·伍尔弗雷姆在加州理工学院时就指出，分子自动机不仅包含了丰富多采的数学结构，而且与非线性动力学有着深刻的相似性。

朗顿发现特别吸引他的是，伍尔弗雷姆认为，所有分子自动机规则都可以被归纳为四种普遍性等级。伍尔弗雷姆的第一等级包括所谓世界末日规则：不管你以何种活细胞或死细胞的模型开始，所有一切都会在一或两步之内死亡。计算机

屏幕上的方格会变成单一的色彩。在动力系统术语中，这种规则具有单一的“吸引点”。那就是，这个系统从数学上来说就像一块沿着盛着谷类食物的大碗底部滚动的大理石：无论这块大理石从大碗的哪一侧开始滚动，它总是很快就会滚入碗底的中心点，即死局之中。

伍尔弗雷姆的第二等级稍微有了些生气，但只是稍微有一些。在这些规则之下，最初任意分布在计算机屏幕上的活细胞和死细胞的模型会很快结合成一组静止不动的团块，也许还有其它一些团块在那里发生周期性的震荡。这种自动机仍然给人以冻结停滞和死局的印象。在动力系统术语中，这些规则似乎形成了一组周期性吸引者。那就是，在凹凸不平的碗底有一些洞，大理石会沿其四周滚动不已。

伍尔弗雷姆的第三等级的规则走到了另一个极端：它们过于活跃了。这些规则产生了太多活动，整个屏幕好像都沸腾了起来。一切都不能稳定，一切都不可预测。结构一经形成就又打散了。在动力系统术语中，这些规则对应于“奇怪的”吸引子——这种状态通常被称为混沌。它们就像在大碗内飞快而猛烈地滚动，永远无法安顿下来的大理

最后还有伍尔弗雷姆的第四等级规则，包括那些罕见的、不可能停滞在某一种状态的规则。这些规则既不会产生冰冻团块，也不会导致完全的混沌。它们是连贯的结构，是能够以一种奇妙的复杂方式繁衍、生长、分裂和重组的规则。它们基本上不能安顿下来。在这个意义上，第四等级规则中的最著名的例子就是“生命游戏”。在动力系统术语中，它们是……

而这正是问题之所在。在常规动力系统理论中，没有任何内容看上去符合第四等级的规则。伍尔弗雷姆推测，这些规则就像是分子自动机的一种独特的行为表现。但事实是，任何人都不知道它们究竟像什么，也没人知道为什么一条规则能够产生第四等级的行为，而另一条规则如不能。发现一个特定的规则属于哪个等级的唯一办法就是对其进行测试，看看它会产生什么行为。

对朗顿来说，这种情况不仅使他好奇，而且复活了他曾经对人类学产生过的那种“因为它不在那儿”的感觉。这些规则似乎正是他想象中的冯·诺意曼宇宙的根本所在，正好抓住了生命的自发涌现和自我繁衍的许多重要特征。所以他决定全力投入对这个问题的研究：伍尔弗雷姆的等级之间是怎样相互关联的？是什

么决定了某个特定规则属于某个等级？

他立刻就有了一个想法。当时他正好在阅读动力系统和混沌理论方面的一些书籍。他知道，在许多真正的非线性系统中，运动的方程式中包含了许多参数，这些参数起着调节钮的作用，决定这个系统的混沌究竟达到何种程度。比如，如果这个系统是个滴水的龙头，其参数就是水流的流速。或者，如果这个系统是兔群，其参数就会是兔子的出生率和因繁殖过多而造成的死亡率之间的比值。一般来说，小参数值通常导致稳定的行为：匀速水滴、不变的兔群规模，等等。这与伍尔弗雷姆的第一和第二等级的停滞行为非常相似。但当参数越变越大时，这个系统的行为就会变得越来越复杂——不同大小的水滴、波动的兔群规模，等等——一直到最后变得完全混乱。到这个时候，这个系统的行为就是伍尔弗雷姆的第三等级。

朗顿不太清楚这个描述如何容纳第四等级。但非线性系统与伍尔弗雷姆的等级之间的类似性之大，到了不可忽视的地步。如果他能找到某种把相似的参数与分子自动机规则相联系的方法，那么伍尔弗雷姆的等级就会呈现其意义。当然，他不能把参数和分子自动机规则任意相联系。不管结果如何，其参数一定是从其规则本身得到的。也许他可以衡量一下每条规则的反应度。比如，它导致中央细胞改变其状态的频率有多大。但会有很多东西需要测试。

所以朗顿开始在他的计算机上为测试每一个让人半懂不懂的参数编写程序。（他到密西根大学后最先做的事情之一就是在大功率、高速度的阿波罗工作站上将他在苹果二型机上的分子自动机程序改进得更加完善。）这项工作没有取得任何进展。直到有一天，在他对一个最简单的参数进行尝试的时候，希腊字母(λ)，他这样称它，正好成为任何特定的细胞都能“活”到下一代的概率。这样，如果一条规则的 λ 值正好是0.0，则任何东西在第一步之后就都无法存活，其规则很明显是属于第一等级。如果其规则的 λ 值是0.5，则删格就会沸腾着各种活动，平均有一半细胞活着，一半死去。那么我们可以推测，这样一条规则属于第三等级的混沌。问题是， λ 是否能够揭示介于两个值之间的任何有趣的现象（超越0.5，“活着”和“死的”的作用就会正好相反，事情就可能再次变得简单，直到达到1.0，又回到第一等级，这就像观察一张照片的底片的行为表现一样）。

为测试参数，朗顿编写了一小段程序，这个程序能够告诉阿波罗机器用 λ 的

一种特殊值来自动产生规则，然后在屏幕上运作分子自动机，呈现这条规则的作用。他说：“我第一次运作这个程序时，取了 λ 值为0.5，心想我这是把它设定在一个完全任意的状态。但我突然就开始获取第四等级的所有规则，这些规则一条接一条地出现！我想，‘上帝，这简直美妙得不可思议！’所以我对这个程序做了检验，弄明白了原来是程序中出现了一个错误，会把 λ 设定在一个不同的值，而这凑巧正是这个等级自动机的关键值。”

朗顿纠正了这个程序错误后就开始系统地探测各种 λ 值。在非常低值的0.0上下，他发现除了一片死气和冰冻的第一等级规则之外一无所有。当他把 λ 值稍稍增高，就发现周期性的第二等级规则，当他把 λ 值再增高一些时，发现第二等级规则要安顿下来需要花费越来越长的时间。如果他一下子就把 λ 值增高到0.5，就发现正如他期望的那样，出现了完全混沌的第三等级规则。但在第二等级和第三等级之间，紧密地聚集在这个神奇的 λ “关键”值周围(大约为0.273)，他发现了第四等级的所有规则。没错，“生命游戏”也在其中。他目瞪口呆。不知为什么，这个简单的 λ 参数恰好将伍尔弗雷姆的等级落入了他希望获得的那种顺序。他发现了第四等级得以发挥效用的地方，这个地方正是在转变点上：

I & II \rightarrow “IV” \rightarrow III

这个顺序还指出了动力系统中的一个具有挑战意味的转变：

秩序 \rightarrow “复杂” \rightarrow 混沌

这里的“复杂”指的是某种第四等级的自动机规则所显示的让人永恒惊奇的动力行为。

他说：“这马上就让我想起某种相变现象。”假如你把参数 λ 想成是温度，就会发现第一和第二等级规则 λ 的低值就像是冰一样的固体，其水分子牢牢地固化成了晶体格。 λ 值稍高一些的第三等级规则就相应是水蒸气一样的气体，其水分子四处挥发，相互碰撞，完全处于混沌状态。而在这之间的第四等级规则相应于什么呢？液体吗？

朗顿说：“我对相变知之不多，但我钻入了所谓的液体分子结构之中。”这起初看上去很有希望：他发现，液态分子通常会相互翻滚成一团，每一秒钟都要几十亿次地相互结合、聚集、然后再次打散，与“生命游戏”非常相似。“某种类似‘生命游戏’的东西在分子这个层次上就像一杯水一样能够一直持续下去，这

种说法对我来说似乎很有说服力。”

朗顿非常喜欢这个概念。但当他对此做进一步思考时，他开始意识到，这不十分正确。第四等级规则通常能够产生“延长瞬变值”，比如“生命游戏”中的滑翔机，一种能够在任意长的时间里存活和繁衍的结构。在通常情况下，液体不会表现出这种分子层次上的行为现象。众所周知，液体能够像气体一样，完全处于混乱状态。确实，朗顿得知，将温度和气压增大到一定的程度，你可以让水蒸气直接变成水，根本就不需要经过相变。总的来说，气体和液体只不过是单个物质流动状态的两种表现。所以其间的区别并不是根本性的，液体与“生命游戏”的相似性仅仅是表面现象。

朗顿又回到物理学教科书上继续阅读。“我终于找到了第一秩序与第二秩序之间相变的基本区别。”第一秩序相变是我们都熟悉的：剧烈而准确无误。比如，把冰块加温到华氏 32 度，冰块立刻就会化成水。分子基本上是被迫在秩序与混沌之间做非此即彼的选择。在低于发生转变的温度下，分子会振荡缓慢，足以保持结晶体秩序（冰块）。但在温度高到转变点之上时，分子就会剧烈振荡，分子键断裂的速度要大于其形成的速度，分子被迫选择混沌（水）。

朗顿得知，第二秩序相变的本质很不寻常（起码是在人类习惯其间的温度和气压下）。但这种相变相当温和，主要是因为这个系统的分子不用做出非此即彼的选择。它们结合混沌和秩序。比如，在达到转变温度之上时，大多数水分子相互翻滚，处于完全混乱的状态：流体阶段。然而，在相互翻滚的水分子中有成千上万极其微小的、有秩序的、呈格化的岛屿，其水分子经常在边缘线上解体和重新结晶。这些岛屿即使就其分子规模而言，也是既不非常大，也不非常持久的。所以这个系统仍然接近混沌。但随着温度下降，最大的岛屿开始变得非常之大，存在的时间也相对延长。混沌和秩序之间的平衡开始起变化。当然，如果温度一下子上升到超过转变点，其作用就会被扭转：物体的状态就会从布满岛屿的流体之海变为布满流体之湖的固体大陆。但如果温度恰好处在转变点上，其平衡就会尽善尽美：有秩序的结构之量与混沌的流体之量正好相等，秩序和混沌相互交织在微臂与碎丝的舞蹈之中，呈现出复杂而永恒变化的状态。最大的秩序结构会将其只做空间和时间上任意长的伸延。没有任何东西能够真正安顿下来。

当朗顿发现“这正是最关键的关联！这与伍尔弗雷姆的第四等级正好相似”

时，他感到非常震惊。一切都包括在这里了。能够繁衍的、滑翔机式的“延长的瞬变值”、永不静止的动力、能够生长、分裂和重组的结构之舞呈现出来的令人永恒惊奇的复杂——这一切实际上界定了第二秩序的相变。

所以，朗顿现在又有了第三个类比：

分子自动机等级：

I & II → “IV” → III

动力系统：

秩序 → “复杂” → 混沌

物质：

固体 → “相变” → 流体

问题在于，还存在比这个类比更大的意义吗？朗顿重又回到研究之中，对物理学家的所有统计测试做了调整，将之应用到冯·诺意曼的宇宙之中。当他把 λ 的作用结果绘制成图表后，其图表看上去就像直接从教科书上拷贝下来的一样。物理学家看了后会大喊：“二级相变”。朗顿不知道为什么他的 λ 参数会运作得这么好，或为什么它与气温如此类似。（确实，到现在也没有人真正理解这一点。）但谁也不能否认这个事实。二级相变真实存在，不只是一个类比。

朗顿会经常随心所欲地给这种相变起名字：“趋向混沌的转变”、“混沌的边界”、“混沌的开始”。但真正能让他抓住本质感觉的名字是“混沌的边缘”。

他解释说：“这个名字让我想起了学习潜游时所经历的一种感觉。我们大多数时候是在离海岸非常近的地方潜游，那儿的海水晶莹剔透，能清清楚楚地看到六十英尺的深处。但有一天我们的教练把我们带到大陆架边缘，那儿，六十英尺深度的晶莹剔透变成了八十度的斜坡，深深滑向深不可测的海水中。我相信，那个斜坡从上到下的水深变化在两千英尺。这使我认识到，我们曾经做过的潜水，尽管在当时显得冒险而大胆，但实际上不过是在海边的嬉耍。比起‘大洋’来，大陆架不过水坑而已。”

“生命浮现于海洋之中，而你生存在其边缘，欣然于海水流动中无穷的养分。这就是为什么‘混沌的边缘’这个说法带给了我非常相似的感觉：因为我相信生命同样也起源于混沌的边缘。我们就生存在这个边缘，欣然于物质所提供的养分……”

当然，这是一个很诗意的说法。但对朗顿来说，这个信念远非只是诗意而已。事实上，他越想越觉得相变与计算机之间、计算机和生命本身之间，有着非常深刻的联系。

当然，这种联系可以直接追溯到“生命游戏”。朗顿说，1970年，当这个游戏被发明出来以后，人们注意到的第一件事就是能够繁衍的结构，比如能够载着信号从冯·诺意曼宇宙的这一端滑翔到那一端的滑翔机。确实，你可以把一群滑翔机的单列滑翔想成是一串二进制数位：“滑翔机出现”=1；“滑翔机消失”=0。当人们接着玩下去，就会发现各种能够储存这种信息，或放射新的信息信号的结构。事实上，人们很快就清楚了，“生命游戏”结构能够用来建造一台有数据储存功能、信息加工能力和其它所有功能的完整的计算机。“生命游戏”计算机可以和该游戏所借助运作的计算机毫不相关，不管那是什么样的计算机，是PDP-9、苹果二型机，还是阿波罗工作站，都只不过是能够让分子自动机运作起来的发动机。不，“生命游戏”能够完全存在于冯·诺意曼的宇宙之中，完全以朗顿的自我繁衍的模式存在。确实，它是一台原始的、效率不高的计算机。但从原则上来说，它确实存在，它会是个通用计算机，其功率足以使其能够计算任何可以被计算的东西。

朗顿说，这是一个十分让人吃惊的结果，特别是当你考虑到只有相对非常少的几条分子自动机规则就能做到这一切时。你可以用第一等级和第二等级规则控制的分子自动机来建造一台这样的通用计算机，因为它们产生的结构过于呆滞，你可以将数据储存在这样一个宇宙之中，但你却不能在这样的计算机上四处繁衍信息，也无法建造一台第三混沌等级自动机的计算机。因为在这之上信号会很快丢失，所储存的结构也会很快变成碎片。朗顿说，确实，能够使你能建造一台通用计算机的唯一规则存在于像“生命游戏”这样的第四等级之中。这些是唯一既能够提供足够的稳定性来储存信息，又能够有足够的流动性可以在任意的距离之间传送信号的规则。而足够的稳定性和足够的流动性是计算机的关键。当然，这些也是在混沌边缘的相变中出现的规则。

朗顿认识到，在这里，相变、复杂性和计算机都被包括于其中了。或起码，它们都被包括在冯·诺意曼的宇宙中了。但朗顿相信，对于现实世界——从社会体系、经济制度到活细胞——都存在相同的关联性。一切现实生活的情形都是一

样的。因为一旦你开始运作计算机，你就是在深入生命的本质。“生命有赖于信息处理的程度高到令人不可思议。”他说。“生命储存信息，画出感官信息的地图，再把信息进行某种复杂的转换而产生行动。英国生物学家里查德·达金斯(Richard Dawkins)举过一个非常好的例子：如果你拣起一块石头，把它抛向空中，它会呈一条漂亮的抛物线落下。这是因为受制于物理定律。它只能对外界对它的作用力做出简单的回答。但如果你把一只小鸟抛向天空，它的行为决不会像石块一样，它会飞向树丛的某处。同样的外界力量当然也作用在这只小鸟身上。但小鸟体内处理了大量它接收的信息，这使它产生了飞向树丛的行动。即使是简单的细胞也同样会如此：它们的行为和无生命的物质的行为是不同的。它们并不只是对外力做出简单的反馈。因此，对于有生命的物体，一个有趣的问题是：受制于信息处理的动力系统在什么样的情况下从只会对物理力量做出简单反馈的物质中脱颖而出？”

朗顿说，为了回答这个问题，“我拿出相变眼镜，观察计算机的现象学。这里有许多相似性。”比如，当你上计算机理论课时，你首先要学的就是区分“停止”程序——即接收到一系列数据就在一定的时间内产生答复的程序——和永远在运转的程序。朗顿说，这就像区分在相变之上和之下的物质行为一样。在这个意义上，物质经常在用“计算机”计算如何在分子层安排自己：如果很冷，则很快就能作出完全凝固成晶体的回答。但如果很热，则完全无法作出回答，只能以流体的形式存在。

他说，这种区别也近似于分子自动机最终因冻结成固定的型态而停止的第一等级、第二等级与分子自动机沸腾不止的第三等级混沌状态之间的区别、比如说，有一个程序刚刚在屏幕上打出“你好，世界！”的字样，然后就消失了。这样的程序就相对于第一等级分子自动机 λ 为0.0的低值，所以几乎立刻就停止安静了下来。相反，如果一个程序有一个严重的错误，所以它在屏幕上打出一串串永不重复自己的乱码，这样的程序就相应于第三等级的分子自动机，其 λ 值介于0.5，这时混沌程度最为严重。

接下来，假如你离开两个极端，趋于相变。在物质世界里，你会发现瞬变值滞留的时间越来越长。那就是，当温度越来越接近相变，分子就需要越来越长的时间来做出自己的决定。同样，当 λ 从0增至冯·诺意曼的宇宙，你就会发现，

分子自动机在停顿下来之前会剧烈搅动一会儿，而运转多久有赖于它们原初的状态。这就相当于计算机科学中的所谓多项式时间算法——也就是在停止之前必须做大量的计算，但计算的速度相对很快、也很有效。（多项式时间算法经常出现在碰到像名单分类这类繁杂的问题时。）但当你进一步观察，当 λ 更接近相变时，你会发现分子自动机会剧烈搅动相当长一段时间。这些相当于非多项式时间算法，某种永不停息的状态。这种算法完全无效。（一个极端的例子就是用尽力前瞻每种可能性棋步的办法下象棋的软件程序。）

如果正好处在相变时呢？在物质世界里，一个特定的分子也许会在一个有秩序的阶段，或流动的阶段兴奋起来，而在这之前却无法知晓，因为秩序和混沌在分子层紧密交缠。同样，第四等级规则也许是一个冻结的型态，也许不是。但不管产生怎样的型态，混沌的边缘的相变相对应的是计算机科学家所谓的“不可决定的”算法。这些算法也许会因为某种输入而很快停滞下来，就像用一个已知的稳定结构开始玩“生命游戏”。但它们也许因为另外一种输入而永不停止地运作下去。关键在于，你无法总是能预先知道会出现何种情况，就是在原则上也无法预测。朗顿说，事实上，甚至有一个定理阐述了这种效应：这是英国逻辑学家爱伦·图灵（Alan Turing）在三十年代证明的“不可决定的定理”。这个定理基本上是说，不管你认为自己有多么聪明，总会有算法能够超越你的事先预测能力。发现这些算法会产生什么结果的唯一办法就是运作这些算法。

当然，这些正是你想用来模拟生命和智能的算法。所以“生命游戏”和其它第四等级的分子自动机与生命如此相似是毫不奇怪的。它们存在于唯一的动力王国，复杂，计算机和生命本身有可能存在其中：那里就是混沌的边缘。

现在朗顿有了四个非常详尽的类比——

分子自动机等级：

I & II \rightarrow “IV” \rightarrow III

动力系统：

秩序 \rightarrow “复杂” \rightarrow 混沌

物质：

固体 \rightarrow “相变” \rightarrow 流体

计算机：

停止→“不可决定”→非停止

还有第五个和更多的假设：

过于稳定→“生命 / 智能”→过于喧闹

但所有这些又有什么意义呢？朗顿判定：“固体”和“流体”不只是物质的两种根本的状态，就像是水和冰那样，而是一般动力行为的两种根本的等级，包括像分子自动机规则的空间，或抽象算法的空间这样彻底的非线性王国的动力行为。他还进一步认识到，这两个动力行为的根本等级的存在，意味着第三种根本等级的存在：混沌边缘的“相变”行为。在混沌的边缘，你会碰到复杂的计算机，很可能碰到生命本身。

难道这意味着有一天你也许能写出相变的一般性物理规律，包括能够解释水的冻结和溶解、以及生命起源的奥秘？或许吧。也许生命起源于四十亿年前的初始原汤，起源于某种真正的相变。朗顿不知道。但他无法抗拒这样的想象：生命确实是永远力图在混沌的边缘保持平衡：一方面始终处于陷入过分的秩序的危险之中，另一方面又始终被过分的混乱所威胁。他想，也许这就是进化：这不过是生命学得越来越善于控制自己的参数，以使自己越来越能够在边缘上保持平衡的过程。

谁知道呢？把这一切都搞清楚要花费毕生的精力。1986 年，朗顿终于让工程学院接受了他把对计算机、动力系统和分子自动机中的相变的概念作为博士论文的题目。但他还要做许多工作才能建立基本的框架，使其足以满足他的论文指导委员会的要求。

继续前进

两年以前，在 1984 年 6 月，朗顿曾参加了麻省理工学院的分子自动机会议。有一天午餐时，他凑巧坐在一个又高又瘦、梳着马尾巴发型的家伙旁边。

“你在研究些什么？”法默说。

“我真不知道该怎么形容它。我一直把它称为人工生命。”朗顿答。

“人工生命！嗨，我们得好好谈谈！”法默惊叫道。

所以他们就谈开了。会议结束以后，他们通过电子邮件继续交谈。法默安排

朗顿到罗萨拉莫斯来参加了好几次学术讨论，(确实，正是在 1985 年 5 月的“进化、游戏和学习”学术会议上，朗顿就他的 λ 参数和相变研究做了第一次公开演讲，给法默、伍尔弗雷姆、诺意曼·派卡德和其他与会代表留下了深刻印象。)这段时间也正好是法默与派卡德、考夫曼一起为生命起源问题忙于自动催化组模拟的时候——更别说法默那时正帮着创建桑塔费研究所——那时他本人正好也深深卷入到对复杂性问题的研究中。他觉得朗顿正是他需要与之协作的人。而且，法默曾经也是反战活动参与者，所以能够让朗顿相信，在核武器实验室从事科学研究并不像表面看上去那么不可思议。法默和他的小组的研究人员所从事的研究完全是非机密、非军事的，你可以把这种研究想成是把一些“肮脏”的钱用于正当的用途。

结果，1986 年 8 月，朗顿接受了罗萨拉莫斯非线性研究中心博士后的工作，偕同妻子和两个小儿子一起南下新墨西哥。这次搬家让爱尔维拉大松了一口气。在密西根过了四年雪雪雨雨的日子，她简直等不及再次回到阳光下。而对朗顿来说这也是件极好的事情。非线性研究中心正好是他想去的地方。在完成博士论文之前他确实还有一些计算机上的工作要做，但博士生在尚未毕业之前就接受第一份博士后工作也是很寻常的事。他应该能够在几个月之内结束博士论文的全部工作，获得博士学位。

然而事情却并不那么顺利。朗顿要在罗萨拉莫斯完成他的计算机实验需要用到工作站。从原则上来说，这并不成其为问题。他到罗萨拉莫斯的时候，非线性研究中心的 SUN 微机系统早已运到了，安装所需的所有电缆线和硬件也都早已到位。但真要在 SUN 上继续计算机实验却变成了一场恶梦。计算机的各部件还分散在各楼和拖车里，研究中心的物理学家们完全不知道怎样才能使系统运行起来。“既然我是学计算机的，他们就认为我肯定知道该怎么办。所以我就变成了我们这个领域的系统维护员和计算机管理员了。”朗顿说。

当时荷兰德和勃克斯共同主持朗顿的博士论文指导委员会，他在朗顿来后不久也作为访问学者来到罗萨拉莫斯。他看到这种情况很吃惊。“朗顿真是个好人。任何时候任何人在应用网络或工作站上出现问题，都会来找朗顿。朗顿毕竟是朗顿，不管花费多少时间都会帮他们解决问题。我到研究中心后的最初几个月中，朗顿在这方面花费的时间比花在任何方面的时间都多。他把电线穿墙拉过来，把

系统的各方面都调试通，却把自己的博士论文搁置一边。”

荷兰德说：“勃克斯、我和法默一直在督促朗顿尽快完成博士论文。我们总是提醒他：‘听着，你必须获得学位，否则你以后会后悔的。’”

朗顿完全明白这是什么意思。他和他的导师们一样急着想完成博士论文。但就是当系统已经安装完毕，能够正常运转了，他还得把所有的计算机编码从密西根大学的阿波罗工作站上转写到罗沙拉莫斯的 SUN 工作站上。这真是件让人心烦的事。然后他又开始筹备 1987 年 9 月的人工生命研讨会。（他来罗沙拉莫斯的合同中就有来后组织这样一个研讨会的内容。）“没办法，总是事与愿违。在来罗沙拉莫斯的第一年，我在分子自动机研究上什么也没做。”

朗顿真正做成的就是这个研讨会。确实，他尽自己所能投入了进去。“我急于想回到人工生命研究中去。在密西根大学时我在计算机方面做了大量的阅读，做得非常艰苦。如果你用‘自我繁衍’做关键字来查阅，会发现有关资料多得有如洪水爆发。但当你用‘计算机和自我繁衍’做为关键字来查阅时，你就会什么也找不到。但我不断在那些稀奇古怪的、非常规的文章中寻找。”

他能够感觉到，这些写稀奇古怪的、非常规的文章的作者就在某些地方，他们是一些和他一样的人，全凭自己的努力来尽力追踪这种怪异的感觉，但却不知道这种感觉究竟是什么，也不知道世界上还有谁在进行这方面的研究。朗顿希望能找到这些人，把他们召集到一起，这样他们就能够开始形成一个真正的科学学科。但问题是怎么达到这一个目的。

朗顿说，最终只有一个办法：“我只能宣布要召开一个人工生命的学术会议，让我们看有谁会来参加。”他认为，人工生命仍然是个很好的招牌。“自从到亚利桑那大学开始我一直用它做名称，人们立即就能明白其含义。”另一方面，他认为让人们对这个术语的含义一目了然十分重要，否则全国各地都会有人跑来演示匆忙拼凑的录像游戏。“我花费了很长时间，大约有一个月的时间，来斟酌邀请函的措词。我们不希望这个学术会离题太远，或太具有科学幻想性，但同时我们也不希望仅仅局限在 DNA 数据基础上。所以我把拟好的邀请函先在罗沙拉莫斯传阅了一遍，然后再进行修改，一遍一遍地反复斟酌。”

当邀请函修改到令他满意以后，如何把这些邀请函寄发出去的问题又接踵而来了。通过电子信件的办法来寄发也许比较好？在 UNIX 操作系统上有一个寄发

信件的公用程序，这个公用程序有一个人人皆知的毛病，可以用来在寄发电子信件时让这个信件同时进行自我复制。“我想过要利用这个错误在计算机网络上发布自我复制的会议通知，然后再令它自行取消。但再一想却觉得不妥，这不是我想要的联系方式。”

现在回想起来这样做是对的。两年之后，1989年11月，康奈尔大学的一个名叫罗伯特·毛利斯(Robert Morris)的研究生想利用这个同样的错误来编写计算机病毒，结果由于编程错误而使病毒失控蔓延，差点儿毁了美国整个学术界的计算机网络。朗顿说，即使是在1987年，计算机病毒也是他不想在会议上讨论的题目之一。从某种意义上来说，计算机病毒是自然的，它们能够生长、繁衍。对环境做出反应，一般以碳为基础的生命形式能做到的一切它们都能做到。它们是否真是“活”的，一直是一个很有意思的哲学问题。但计算机病毒也是很危险的。“我可不愿意鼓励人们跟计算机病毒寻开心。坦率地说，我不知道如果我们在研讨会上谈论计算机病毒，实验室的人是否会走进来说：‘不，你们不能谈论这个话题。’我们不能招惹一批游手好闲的计算机玩家到罗萨拉莫斯来破坏这儿的计算机系统的安全。”

朗顿说，不管怎么样，最后他只是通过邮寄的方式将会议通知发给了所有他认为也许会对这个会议感兴趣的人，并请他们向别的人传递会议召开的消息。他说：“我一点儿也不知道究竟有多少人会来，也许只有五个人来，也许会来五百个人，我一点儿把握都没有。”

结果来了一百五十人，包括一些表情显得有些困惑的记者，他们来自《纽约时报》和《自然》杂志等报刊杂志。“结果我们吸引了最应该被吸引来的一群人。这群人中有一些是狂客，有些是尖酸刻薄的嘲讽者，但大多数都是稳当扎实的学者。”当然也有罗萨拉莫斯和桑塔费的常客，像荷兰德、考夫曼、派卡德和法默。英国生物学家里查德·达金斯，《自私的基因》(The Selfish Gene)一书的作者，从牛津赶来谈他的模拟生物形态进化的计划，阿利斯蒂德·林登美尔(Aristid Lindenmeyer)从荷兰赶来谈论他的计算机模拟胚胎发育和植物生长，已经在他的《科学美国人》杂志(Scientific American)的“计算机娱乐”栏目中大力宣传了此次会议的蒂德内(A. K. Dewdney)也赶来组织计算机演示。蒂德内还举办了“人工4-H”竞赛，从中选出最优秀的计算机创造物。来自格拉斯哥的格

雷汉姆·坎斯—史密斯(Graham Cairns—Smith)前来讨论他的关于微观黏土晶体表层的生命起源理论。来自卡内基麦伦大学的汉斯·莫拉维克(Hans Moravec)要谈谈关于机器人的问题。他相信机器人总有一天要主宰人类。

这类的与会者还有许多。对大多数发言者要说些什么,朗顿直到他们站起来发言时才知道。“这次会议对我来说是一次很强烈的感情经历。我再也不可能有第二次这样的经历了。所有的人都在独立地从事人工生命的研究。他们躲在一边研究,而且经常是在家里研究。然而每个人都有这样的感觉:‘这里面肯定有什么奥秘。’但他们不知道向谁求助,参加会议的所有人都怀有同样的不能确定的疑虑,怀疑是不是自己疯了。到了这个会议上我们差不多都要相互拥抱了。这是一种真诚的同志的友情。一种‘也许我是疯了,但所有这些人也都疯了’的感觉。”

他说,所有的学术报告都没有任何突破性的进展。但在所有发言中都能看到其潜力所在。学术报告的题目广泛到从模拟蚂蚁王国的集体行为、用集合语言的计算机码编写的数据化生态平衡系统的演化、到黏稠的蛋白分子自我集成成病毒。“看到这些人自己独立研究到如此深入的地步真令人心驰神往。”朗顿说。而更令人振奋激动的是看到同样的主题重复出现:基本上每一篇学术报告都提到,流体本质的、自然的、“类似生命的”行为似乎是从最底层冒出来的规则,是没有中央控制的涌现现象。你已经能感觉到一门新兴的科学正在形成。“这就是为什么我们告诉大家到会议结束时再把论文提交上来。因为只有当听完其他人的想法时,大家才能对他们所思考的东西看得更清楚。”

“很难准确地说明研讨会上究竟发生了什么事。但百分之九十的内容是在鼓励大家不断取得进展。到离开时,我们大家仿佛都感到已经摆脱了所有的束缚。在这之前,我们听到的所有的话都是‘停止’、‘等等’、‘不’,正像我不能在密西根大学做一篇关于人工生命的博士论文那样。但现在,所有的话都在说:“行、行、行,对、没错”!

“我太兴奋了。这好像是一个完全改变了的意识状态。我觉得这好像是一片灰色物质的大海,各种思想和概念荡漾漂游其中,自我组合,相互传递。”

他说:“这五天简直生气活跃得不可思议。”

会议结束以后,朗顿收到了东京大学一位与会者的电子信件。他说:“研讨会日程安排得太紧了,我没有时间告诉你,当第一颗原子弹投扔到广岛时,我正

好在那里。”

他对朗顿再次表示感谢。他说，在罗萨拉莫斯参加会议，讨论生命的技术，使他度过了最兴奋的一周。

第七章 玻璃房中的农民经济

1987年9月22日，星期二，即荷兰德和阿瑟来参加朗顿的人工生命研讨会的当天下午5点左右，荷兰德和阿瑟离开了罗沙拉莫斯的人工生命研讨会，驱车开下台地，返程桑塔费。沿途，他们偶尔停下车来欣赏向晚的景色。在他们的东面，桑格里德克里斯多山脉从里奥格兰德河谷巍然拔起七千英尺。他们已经开了整整一个小时的车了，一直都在讨论“柏德”(boid)：这是来自洛杉矶新柏利克斯公司(Symbolics Corporation)的克内基·雷诺尔兹(Craig Reynolds)在研讨会上展示的一个计算机模拟。

阿瑟被这个模拟迷住了。雷诺尔兹宣称，这个程序意在抓住鸟类聚集成群、或羊儿聚集成群、鱼类聚集成群的行为本质。在阿瑟看来，他成功地做到了这一点。雷诺尔兹的基本思想是，将一个自动的、类似鸟类的作用者，“柏德”置入到处是墙和障碍物的屏幕环境之中。每一个“柏德”都遵循三个简单的行为规则：

1. 它尽力与其他障碍物，包括其它“柏德”保持最小的距离。
2. 它尽力与其相邻的“柏德”保持相同的速率。
3. 它尽力朝其相邻“柏德”群的聚集中心移动。

令人注目的是，这些规则中没有一条说：“聚集成群”。正相反：这些规则完全是地方性的，只是针对每一个单独的“柏德”所能做的和从其邻居中所能见的发出指令。所以，如果真的能够因此而产生聚集成群的现象，那这种动力只能来自最低层，只能是一种突发的现象。但每一次都确实能够产生聚集成群的现象。雷诺尔兹开始这个模拟时，先将“柏德”随意地在计算机屏幕上散置各处，然后它们会自发地将自己聚集成群，以一种流体性的、非常自然的形式环绕障碍物飞翔。有时，鸟群甚至能够分成更小的群体，从障碍物的两旁绕过，又在障碍物的另一端重新聚集成群，就好像是“柏德”一直刻意而为之事。有一次，一个“柏德”不幸撞到了一根柱子，拍翅盘旋了一会儿，仿佛是晕头转向了，当“柏德”群开始移动时，它马上就跟上去，重新加入到团体之中。

雷诺尔兹认为，这个过程的一部分证明，“柏德”的行为真的是涌现的。

其行为规则和其它的计算机编码都没有告诉任何一个特定的“柏德”应该采取这样的行动。所以阿瑟和荷兰德一上车就开始琢磨这个问题：“柏德”的行为在多大程度上是内制的，多大程度上真的是出乎预料的涌现行为？

荷兰德坚持自己的看法。他见过太多模拟“涌现”行为的例子了，这些“涌现”行为都是从一开始就把指令设置到程序中去的。“我对布赖恩（阿瑟）说，你必须要小心。也许这里展出的所有模拟实验，包括那个撞上了柱子的例子，都明显是编程进去的，而这些编入的规则并没有任何学习新东西的功能。我希望起码能把其它东西置放到这个模拟之中，改变其环境，然后再看它是否有能力产生合理的行为。”

阿瑟无法与这个观点雄辩一番。他说：“但对我来说，我不知道你如何来定义‘真正的’涌现行为。”在某种意义上，在宇宙中发生的一切，包括生命本身，都是早已内制了能够主宰夸克行为的规则。所以，究竟什么是涌现？当你面对它的时候怎么识辨它？“这直接关系到人工生命的核心问题。”

既然荷兰德和所有的人都无法解答这个问题，那他和阿瑟也就无法得出一个确信无疑的结论。但回想起来，阿瑟说，他们之间的讨论确实在他睡意全无的头脑中播下了种子。1987年10月初，精疲力尽但却满怀愉悦的阿瑟完成了他在桑塔费研究所作为访问学者的工作，返回斯坦福大学。返回后，在痛痛快快地补足了睡眠以后，他又开始仔细思考他在桑塔费所学所闻的一切。“荷兰德的基因算法。分类者系统和‘柏德’等概念给我留下了极为深刻的印象。这些新概念、新思想，以及由此而开启在我面前的无限的可能性，令我思索良久。我的本能告诉我，这些概念就是回答。但关键是，经济学的问题何在？”

“我最初的兴趣在于第三世界国家的经济是如何改变和发展的。所以，1987年11月份左右，我打电话给荷兰德说，我对如何将这些概念应用于经济学有了一个想法。我觉得你可以在大学办公室里，在一个虚拟的玻璃房里做一个农民经济发展的小小模拟，当然其实是在计算机上做这个模拟。但必须全都采用小小的作用者，这些小小的作用者应该未经编程就能通过学习而变得聪明，还必须能够相互发生作用。”

“然后，在这个梦幻般的想象中，有一天早上你走进办公室说：‘嘿，看看这些家伙！两、三个星期以前他们还在以物易物，现在他们有了联合股份公司。’

第二天，你走进办公室说：‘噢，他们知道要成立中央银行了。’再过几天，所有你的同事都聚拢来，而你正在观察：‘哇！他们居然有了工会！下一步他们还想做什么？’或他们中有一半人已经成为共产主义者了。”

阿瑟说：“当时我还无法将这个主意陈述清楚。”但他知道，这种玻璃房经济模拟会和常规经济模拟截然不同。在常规经济模拟中，计算机只是把一组不同的方程式整合在一起。而在他的玻璃房经济中，经济作用者不是数学变量，而是作用者，是陷入相互作用和偶然事件之网的一个个实体。这些实体会犯错误，能够吸取经验教训。它们有自己的历史，就像人类一样不受数学公式的支配。当然，从实际考虑，它们比真正的人类要简单得多了。但如果雷诺尔兹真能够用三条简单规则产生非常逼真的聚集成群的行为的话，则我们起码可以想象，也许充满了设计完善的适应性作用者的计算机能产生非常逼真的经济行为。

阿瑟说：“我模模糊糊地想到，是否能用荷兰德的分类者系统来制造这些作用者。我知道怎样来做这件事。约翰（荷兰德）对如何做这件事提不出直接适用的建议来，但他也很有积极性。”所以俩人同意，当明年桑塔费研究所的经济学项目开始时，这将是优先考虑的研究课题。

初出茅庐的项目主任

同时，项目的准备工作也够阿瑟忙活一气的。确实，他这才开始体会到他被赋予的工作的全部意义。

很快，事情的发展使荷兰德无法和他共同主持经济学研究项目。荷兰德把1986到1987这个学年用来在罗萨拉莫斯做访问学者，早就用完了他的年假。他又回到了密西根大学，重新卷入了将他的系并入到工程学院的大学政治之中。他的妻子莫丽塔也无法从科学图书馆系统负责人的工作岗位上脱身出来。所以荷兰德最多只能到桑塔费呆上一个来月的时间。

这样，组织经济学项目的工作整个儿地落在了阿瑟的肩上。而阿瑟有生以来从来没有主持过这样一个学术研究项目，更别说创建这样的个项目了。

约翰·里德希望我们做些什么？他问尤金尼亚·辛格。她现在是在里德和花旗银行董事长的联系人。“他说就按你的想法去做，只要不是用常规方法去做就行。”

她在询问了里德之后回答说。

你们需要我们做些什么？他问肯·阿罗和菲尔·安德森。他们说，他们需要他为经济学研究创立一个基于复杂的适应性系统观点之上的全新而严谨的方法。

桑塔费研究所要我们做些什么？他问乔治·考温和桑塔费的其他执政人。“科学委员会希望你能从根本上为经济学开创全新的方向。”他们告诉他。顺便告诉你，第一年的预算是五十六万美元，这笔经费中，有一部分是来自花旗银行，有一部分来自麦克阿瑟基金会，还有一部分是来自国家科学基金会和能源部。当然，经济学项目是研究所的第一个、同时也是最重要的一个研究项目，所以我们大家都十分关注项目的进程。

“我摇着头离开了。五十几万美元在学术研究上只够做中等大的项目，而我们面对的却是一个巨大的挑战。这就好像是告诉我说：‘拿上冰斧和绳子，去攀登艾弗勒斯特山吧。’我惊恐极了，觉得这简直不可思议。”

当然，实际上阿瑟远不是孤军奋战。阿罗和安德森非常乐意给他以道义上的支持，给他提出各种建议，不断鼓励他。“他们差不多成了这个项目的基石和领袖。”阿瑟说。确实，他认为这个项目是他们的项目。但他们却非常清楚地表示，阿瑟是主要执行官。“他们保持不介入，要我来指导研究，让我来使这个项目开展起来。”

他说，他很早就做出了两个决定。第一个是关于研究课题的。他显然对把混沌理论和非线性动力学应用于经济学的想法不感兴趣。这基本上是阿罗脑子里的想法。根据他所了解的情况来看，早就有许多研究小组在从事这一类的研究了，但研究成果却寥寥无几。阿瑟对把这个项目做成是对整个世界经济的模拟这个想法也没有兴趣。“这也许是里德头脑中的想法。而且这好像是工程师和物理学家们最喜欢做的事，但这就好像是对你说：‘你既然是个天文物理学家，为什么不做整个宇宙的模拟？’”他说，这样的宇宙模型会像真正的宇宙那样令人费解。这就是为什么天文物理学家不会这么做的原因。确实，他们只针对类星体做一组模型，针对螺旋星系做一组模型，再针对星星的形成做一组模型，等等。他们用计算机解剖刀来解剖特殊的现象。

而这正是阿瑟希望桑塔费的项目所做的事。他当然不愿意打消实验玻璃房经

济的念头，但他同时希望人们能够在起跑之前先学会怎样走路。特别是，他希望这个项目能解决经济学上的一些老问题，希望看看从适应性、进化、学习、多平衡、涌现和复杂性等所有桑塔费主题的角度来看待这些老问题时，它们会有什么变化。比如说，为什么股票市场会出现泡沫和崩盘？或者，为什么会有钱的出现（即，为什么像金子或贝壳数珠这种特殊的货物会广泛被当作交换的中介物来接受）？

阿瑟说，强调要使这个项目来对付经济学中的老问题后来引起了激烈的争论。研究所科学委员会的有些人指责他发明创造精神不够强。“但我们却认为这是回答常规问题的好方法、好策略、好步骤。”阿瑟说。“这些是被经济学家所共识的问题。最重要的是，如果我们能够证明，把理论性的假设变成更为现实的假设，就能使你看问题的角度发生重大的改变，那么，我们就能让经济学界看到，我们对经济学确实做出了贡献。”

他说，出于同样的理由，当马瑞·盖尔曼敦促他为这个经济学项目发表一个宣言，发表一个就像钉在教堂的大门上的那种振聋发聩的宣言时，他拒绝了。“他几次向我推销这个想法。他希望这份宣言能说：‘一种不同形式的经济学即将诞生’之类的话。但我考虑后决定不这么做。一个接一个地解决问题，解决那些经济学的老问题，要比那种做法好得多。我们会使人信服的。”

第二个关键的决定是关于选择什么样的人来从事这个项目的研究工作。当然，他需要思想开放、赞同桑塔费观念的人。十天的经济学研讨会证明，这样的一群人能带来多么丰盛、多么令人激动的成果。阿瑟说：“我早就认识到，无论是我、还是阿罗、安德森、或任何人都不能用从上到下的方法为桑塔费的研究搭建框架。这个框架必须是从我们所做的研究中、从我们探讨问题的方式中、从我们每个人自己的思想中涌现出来的。”

但从阿瑟自己在争取让他的第一篇关于报酬递增率的论文发表出来的惨败中，他明白了一个道理：在主流经济学家中建立桑塔费经济学项目的可信度是至关重要的。所以他希望参与该项目的人员中有诸如阿罗、或斯坦福大学的汤姆·萨金待这样声名如日中天的经济学理论家，他们不仅能够帮助桑塔费确保其尚未界定的思想完全符合现存的学术规范，而且当他们走出去谈论桑塔费理念时，人们会愿意倾听。

但不幸的是，组织这班人马说说容易，做起来可就难了。阿瑟与阿罗、安德森、潘恩斯和荷兰德商定了候选人名单后，基本上满足了该项目对非经济学研究人员的需要。菲尔·安德森同意来桑塔费做短期逗留，他的学生，杜克大学的理查德·派尔莫（Richard Palmer of Duke University）也同意来桑塔费做短期逗留。荷兰德肯定也会来。还有才思敏捷、能言善辩的明尼苏达概率理论家大卫·兰恩（David Lane）。阿瑟甚至还请来了与他合作发表过论文的苏联概率理论家约里·厄姆利夫和约里·凯尼欧夫斯基。另外还有考夫曼、法默和所有其他罗沙拉莫斯和桑塔费圈子里的人。但当阿瑟开始召集经济学家的时候，他很快发觉，他对可信度的关注绝非错误。几乎所有人都听到过关于桑塔费的传言。阿罗走到哪儿都把桑塔费拴在嘴边。但桑塔费研究所是哪些人组成的，都干些什么？许多人都还不太清楚。“当我召集经济学家时，他们总是说：‘嗯，好，但有些晚了，我已经有其它安排了。’基本上，让没有参加过桑塔费研讨会经济学家对桑塔费的研究项目感兴趣是非常非常困难的。”

好消息是，参加过桑塔费经济学研讨会经济学家们是一批优秀的人才——他们毕竟都是阿罗亲自选定的。而来自这圈人之外的反馈也并非完全令人沮丧。阿罗和萨金特都同意来呆上几个月。约翰·鲁斯特（John Rust）和威廉姆·布劳克（William Brock）也同意从威斯康星大学赶来。明尼苏达大学的莱蒙·马里蒙（Ramon Marimon）、密西根大学的约翰·米勒（John Miller）也都会来。米勒刚刚完成博士论文，他的研究对荷兰德的分类者系统有十分重要的作用。最令阿瑟得意的成功是，剑桥大学的富兰克·汉恩（Frank Hahn）也会前来。他是英国经济学理论界中的头号人物。

总之，第一年大约会有一二十名杰才不同程度地参与经济学项目。其中有七、八个人会整年呆在桑塔费。这个规模相当于一个小学院的经济系。他们将携手重建经济学。

桑塔费理念

经济学项目将于 1988 年 9 月在桑塔费研究所上马，以第二个为期一周的经济学研讨会作为开端。所以阿瑟从 6 月份开始就住到了桑塔费，他要用一个夏天

的时间着手筹备，每一分钟对他来说都十分宝贵。他发现，到了秋季，当与会者纷纷前来报到时，工作越来越忙乱了。

“每天都有人来找我。比如有一个人不知道怎样换电灯泡，问我是否会换。这个地方太狭小了，我有时不得不去解决各类问题，诸如哪间办公室可以给吸烟者用？或，怎能与一个一天到晚穿着短裤，露着多毛的大腿的人共用一间办公室？那个提出问题的人真的无法接受与穿短裤者共用一间办公室。而且我还得全权负责研讨会的组织工作。组织工作的一部分是出去网络人才，与他们交谈，征求他们的意见，到处散布桑塔费经济研讨会的消息。”

阿瑟发现，当老板就是不能总是出去和其他孩子们一起玩耍，而必须用全部的时间来扮演一个成年人。尽管有研究所其他工作人员的帮助，但阿瑟发现他百分之八十的时间仍然要花费在非科研的事务上，而这些事务性工作没有多大意思。他说，有一次他回到在桑塔费租的房子，对妻子苏珊抱怨说，他用于从事研究的时间太少了。阿瑟说：“她最后开口说：‘哦，别唠叨了，你这辈子都没有这么快活过。’她说对了。”

确实，她说的没错。阿瑟说，因为尽管有这些事务性工作缠身，剩下的百分之二十的时间也足够弥补一切的了。到了 1988 年秋季，桑塔费研究所已经呈现出一派生机勃勃的景象。这不仅是因为经济学项目上了马，也因为去年秋末，盼望已久的联邦政府基金着实通过国家科学基金会和能源部拨发了下来。考温没有能够说服这些机构如数满足他的资金要求，比如说，研究所仍然没有资金聘请长期研究人员，但这些基金组织已经承诺从 1988 年 1 月份开始，在三年中给桑塔费拨款 170 万美元。所以在 1991 年以前，研究所有了财政上的安全保证。研究所终于有了足够的资金来认真开始朝其创建的目标努力。

在盖尔曼和潘恩斯主持下的科学委员会批准召开十五个新的研讨会。有些研讨会将从核心物理学角度来探讨复杂性问题。在这个方面，最好的例子是将由罗沙拉莫斯的波兰物理学家祖莱克 (Wojciech Zurek) 组织的“信息物理学、熵和复杂性”研讨会。祖莱克的想法是，从信息和计算机复杂性这样一些已被计算机科学所界定清楚的概念入手，来探讨它们与量子机制、热动力学、黑洞的量子辐射、以及（假设的）宇宙量子起源之间的深层关系。

其它研讨会将从生物学的角度来探讨复杂性问题。最好的两个例子是两个由

罗沙拉莫斯生物学家爱伦·泊雷尔森(Allen Perrlson)组织的关于免疫系统的研讨会。泊雷尔森早在1987年6月就召开了桑塔费研究所的一个很重要的免疫学研讨会,而且一直在桑塔费主持一个小小的研究项目。泊雷尔森的思想是,身体的免疫系统有几十亿个高度敏感的细胞,它们随血液流动,病毒或细菌一出现,它们就与抗体一起共同中和侵入的病毒或细菌。免疫系统是一个复杂的适应性系统,在这一点上和生态系统及大脑组织完全一样。所以桑塔费的理念和技术应该能够对像爱滋病、或多发性硬化症、以及关节炎这类与免疫相关的问题给予启迪。反过来,因为人们对免疫系统的分子结构的详情已经了解甚多,所以致力于免疫系统研究的项目应该能够使桑塔费的某些高深的概念应用于实际之中。

同时,科学委员会还力主将没有参加过桑塔费项目和研讨会的访问学者和博士后网罗进来。这是研究所自始至终坚持的方法:网罗各路俊杰,然后看看会发生什么。科学委员会成员开玩笑说,桑塔费研究所本身就是一个涌现现象。实际上,这是一个被他们相当认真地对待的笑话。

所有这些都符合考温的心愿。他总是迫切想找到更多的灵魂中燃烧着难以言述之火的俊杰。但考温认为,这不仅仅是一件挖掘俊杰的事。你可以说,研究所拥有许多才华出众的人才,但他们却不知道你到底要干什么。研究所要网罗的是能够相互撞击出火花来的人才:“其中有些人在接触中显得目光呆滞,而另一些人则从此开始与我们保持联系。”如果情况是这样的话,那么你其实就是在以某种方式行使一种极具强制性的权力:知识的权力。如果你发现对方对桑塔费的概念的理解发自大脑深处,这样的想法永远盘旋在他的脑际,那你就算是找对了人。你不是用把人从肉体上拉过来的方法,而是用知识的魅力来聚拢人心。你是用大脑,而不是用狂欢作乐的聚会来吸引他们。

发掘这样的人才比以往更加不易了,但确实有这样的人才存在。而且有越来越多这样的人才涌向桑塔费,致使小小的修道院经常人满为患。确实,这种情形简直让人难以想象:小教堂长年召开着各种研讨会,原本只够一个人使用的办公室里常常挤着三、四个人,同僚们没完没了地在黑板上涂写着什么,争论着什么,走廊上和大树下的自由讨论在不断形成和重组,人们勃发的活力和同志间的情谊就像电流一样感染每一个人。这正如斯图尔特·考夫曼所说:“我看待世界的眼光每天都会经历两次刷新。”

大家都有同样的感觉。阿瑟说：“颇为典型的是，每一天上午，大多数人都不会钻进办公室，你会听到计算机终端发出的轻微声音和敲击键盘的响声。然后就会有人的门口探头探脑。你做过这个吗？你想过那个吗？你能和来访者谈半个小时吗？然后我们就会一起去吃午饭，常常是一起去坎杨路餐馆，我们把那个餐厅叫作‘教职工俱乐部’，而我们则变成了烂熟的常客，那儿的女招待甚至都不再给我们拿菜单来了。我们总是说：‘给我一个五号’，所以她们甚至都不用问就知道给我们上什么吃的。”

他们之间的谈话总是没完没了，大多数谈话非常精彩诱人。阿瑟说，他记得最清楚的是随时随地开始的即兴自由讨论会。那些讨论会永远在接近中午时分，或从下午开始。“这样的讨论会一周有三次、四次、五次。某个人会走到走廊上说：‘嘿，让我们来讨论讨论 X’，然后就会有五、六个人聚集到小教堂，或更经常的是聚集到厨房旁边的小会议室里。小会议室里的光线非常昏暗，但它就在咖啡室和可乐机旁边。房间是印第安风格的，墙壁上挂着一张爱因斯坦的照片，扎着印第安头巾的爱因斯坦冲着我们微笑。”

“我们会围桌而坐。斯图不特（考夫曼）也许倚在一个炉架上。有人也许会把问题写在黑板上。我们就开始针对这个问题提出无数个问题，其实都是些非常善意的争辩。大家从来不恶语相向，但提出的问题却相当尖锐，因为大家所谈论的都是最根本的问题，而不是经济学研究的技术性问题，不是你如何解决这个或那个定点定理，或在物理学上，为什么材料在零下 253 度会出现超导现象这类的问题，而是关于科学走向何方这类的问题。这类问题包括，你怎样对付有限的理性？当情况真的变得就像国际象棋那样复杂的时候，经济学应该怎样进展？你对永远在演化，永远达不到平衡点的经济学是怎么想的？如果你把计算机实验应用于经济学，你会怎么做？”

“我认为这正是桑塔费之所以为桑塔费的原因：我们正在努力寻求的答案和我们正在借用的技术手段，恰好正在形成桑塔费派的经济学的概念。”

阿瑟对其中的一系列讨论的记忆尤为深刻，因为这组讨论提炼了他的思想。他说，当时阿罗和剑桥的汉恩也在场，所以那肯定是在 1988 年 10 月至 11 月他们来访的时间里。“我、荷兰德、阿罗、汉恩、也许还有考夫曼和一、两个其他人聚在一起。我们反复讨论经济学家能对有限理性做些什么。”也就是，如果经

济学理论不再假设人们对任何经济问题，即使是像下国际象棋那么复杂的问题，都能自发地、像计算机那样对其结果进行准确无误的推理，那么经济学理论会变成什么样子呢？

他们几乎每天都在小会议室里讨论这个问题。阿瑟记得汉恩曾经指出，经济学之所以借助完美理性，是因为那是一个水准基点。如果人们都理性到尽善尽美的地步，那么理论学家们就可以准确无误地说出这些人会做出什么样的反应。但完全的非理性又是怎样的呢？汉恩好奇地问。

“布莱恩（阿瑟），你是爱尔兰人。你也许知道。”他问。

阿瑟笑了，汉恩又认真地接着说，只有一种方法能达到完美的理性，而有无数种方法能达到部分理性。所以对人类而言，哪种方法是正确的呢？“对理性的标度你如何界定？”

如何界定理性的标度？“这是汉恩的比喻，这个比喻使我振聋发聩。我后来对此思考良久，咬了许多铅笔头，进行了许多次讨论。”阿瑟说。他和其他人就像观察一张照片上的影像如何在洗照片的盘子里呈现出来一样，慢慢地找到了答案：界定理性标度的方式就是放手任其发展，让作用者自己来界定理性的标度。

阿瑟说：“你会采用约翰·荷兰德的方法。你会把所有这些作用者当作分类者系统或神经网络、或其他形式的适应性学习系统来模拟，然后让标界随着作用者不断吸取经验教训而不断变化。所以所有作用者开始的时候完全是愚蠢无知的。那就是，它们会做出随意的、错误的决定。但随着彼此取得反馈，它们会越来越聪明。”也许它们真的会变得非常聪明，也许不会，一切都有赖于它们的经历。阿瑟意识到，这些具有适应性能力的人工智能作用者，正是你想用来建立真正的经济学动力理论的因素。如果你把它们置于一个稳定的、可预测的经济环境中，你也许会明显地看到，它们做出的正好就是新古典经济学理论所预测的那种高度理性化的决策——这不仅仅是因为它们能获得完整全面的信息和无限迅速的推理能力，而且也因为稳定性留给了它们充足的时间来找到窍门。

但如果把这些同样的作用者置于模拟的经济变化和骚动之中，它们仍然能够发挥作用。但也许表现得不是那么尽善尽美。它们会跌跌撞撞、会一败涂地、会一开始就犯各种错误，就像人类所表现的那样。但由于它们被内设了学习算法，所以它们能够逐渐学会采取合理行动的方式。同样，如果把这些作用者置于一个

竞争的环境，比如像下国际象棋，使它们必须采取相互对抗的行动，那你就会看到它们如何做出选择。而如果你把这些作用者置于一个模拟繁荣的模拟经济环境中，你会看到它们怎样探索可能性的无穷空间。事实上，无论你把它们置于何地，它们都会力图做点什么。新古典经济学理论不能解释经济中的动力现象和变化，而充满了适应性作用者的模型却完全与之不同，后者的动力机制是事先内制的。

阿瑟认识到，这显然与他对玻璃房经济的设想有同工异曲之妙处。这正是十年前他读《创世第八天》时的所悟所获。只是他现在对此看得更加澄澈了。这就是诱人的“桑塔费理念”：与强调报酬递减率、呆滞的均衡和尽善尽美的理性化的新古典经济学观点相反，桑塔费强调的是报酬递增率、有限理性、以及进化和学习的动力。他们不是把自己的理论建立在易于用数学操作的假设上，而是力图创建在心理上符合情理的经济模式。他们不把经济看作是某种牛顿式的机器，而看作是某种有机的、可适应的、令人吃惊的、有生命力的东西。他们不把世界当作深埋在冻土层的某种呆滞的东西来谈论，而是学会怎样把世界当作平衡在混沌的边缘的一个具有动力的、永恒变化的系统来谈论。

“当然，这在经济学上并不是一个全新的观点。”阿瑟说。伟大的经济学家约索夫·熊彼特也许并不知道“混沌的边缘”这个名称，但他在三十年代就呼吁从进化的角度来研究经济学。耶鲁大学的里查德·尼尔森(Richard Nelson)和西德尼·温特(Sidney Winter)自七十年代中期以来就一直在煽动经济学的进化运动，而且取得了一定的成功。还有其他一些研究人员做过经济学领域的学习效果的研究。阿瑟说：“但在这些早期的学习模拟中，作用者都被假定成已经形成了对外界环境能够多少做出些正确反馈的模型，学习只是使这种反馈模型通过调节少数一些连接点而变得更加敏锐。而我们需要的是更加逼真的东西。我们需要的是让涌现来自于‘内设的模型’，作用者在学习的过程中从头脑内部建立起某种反馈机制。我们有许多可以用来分析这个过程的方法，包括荷兰德的分门者系统和基因算法。另外，里查德·派尔莫刚完成一本有关神经网络的书。戴维·埃恩还有我知道如何在概率的基础上用数学方法做系统分析。”厄姆利夫和凯尼欧夫斯基是猜测性学习研究方面的专家。我们还收集到了完整的心理学研究方面的资料。这些方法真正为我们模拟适应性，精确其算法铺平了道路。

阿瑟补充说：“事实上，总的说来，第一年对我们至关重要的知识影响是学

习使用计算机，具体地说，就是向兰德学习计算机技术，不是学习凝聚态物理学、报酬递增率，也不是学习计算机科学，而是掌握学习和适应性。当我们和阿罗、汉恩等人探讨这个概念时，令我们大家激动的显然是，我们竟然能够用这种完全不同的方法来研究经济学。”……

桑塔费的经济学家在为这一经济学前景感到振奋的同时，也含含糊糊地感到某种困扰。阿瑟说，其原因是，他一直到很晚才开始触及某些问题。“经济学正如它通常被用来实践的那样，是在纯演绎法模型的基础上运作的。任何一个经济环境都被首先用数学公式来演绎，在这之中，经济作用者被假设是用严格的分析性推理来解决经济问题的。然后就出现了荷兰德、神经网络研究者和其他计算机学习功能理论家。他们都谈到，作用者在归纳法模型的基础上运作时，是根据片断的数据进行推理，并在这个基础上建立有用的内在模型。”归纳法使我们能够在瞥见正消失在转弯处的描尾巴时，推断出有一只猫的存在，归纳法使我们能够在经过动物园时将长着漂亮羽毛的动物归为鸟类，即使我们以前从来没有看到过一只红冠的鹦鹉，初见时也知道它属于鸟类。归纳法是使我们能够在这个头绪纷乱、不可预测、常常不可理解的世界生存的方法。

“如果你被空投到日本参加一场谈判，而你以前从未到过日本，你对日本人的思考、行为或工作方式一无所知，不能完全理解周围发生的事情，你所做的事大多不会符合当地的文化背景和习惯。但随着时间的推移，你注意到你所做的有些事取得了成功。渐渐地，你和你的公司不知怎地就学会了适应环境，了解了当地的行为规范。”（当然，至于日本公司是否真买你的产品，那是另外一回事。）想象置身于一个诸如下国际象棋那样的竞争环境，棋手对对手的意图和能力会获得一些片断的信息。为了拿出对策，它们确实会运用逻辑的、演绎的推理方法。但用这种方法最多只能推断下几步的路数。棋手更经常地是用归纳法来操作。他们尽力用假设、类比、以往的经验 and 实际操作得到的规则来应付局面。不管用什么方法，只要能获胜就行，哪怕连他们自己也不知道其原由也无妨。所以，归纳法不能仅仅依赖于精确的、推论式的逻辑。

阿瑟承认，当时甚至他也对此感到困惑不解。“一直到我来到桑塔费，我都认为，你必须要先界定清楚经济问题，才能探讨这个问题。如果不能清楚地界定问题，你又能拿它怎么样呢？你当然不能用逻辑来解决这个问题了。”

“但荷兰德告诉我们，事情并不是这样的。当我们和荷兰德交谈，阅读他的学术论文后，才开始认识到，他所谈论的范例都是其内容尚未界定清楚的问题，其环境因时间的推移而不断变化。我们对他说：‘约翰，你怎么能够在这样的环境中学习呢？’”

荷兰德的回答大致上是，你在这样的环境中学习是因为你必须这样做：“进化才不在乎问题是否得到了清晰的界定。”他指出，适应性作用者只是对外界对它的回报做出反应。它们用不着对这报酬来自何方做出假设。事实上，这就是他的分类者系统的全部意义之所在。从算法上说，这些系统都被严格界定，然而它们却能够在完全没有被明确界定的环境中运作。既然分类者规则不过是对于世界的假设，而并非“事实”，那它们就可能会相互矛盾。而且，因为这个系统始终在对这些假设进行探测，从中区别出哪些假设是有用的，能够使其得到报酬，所以它甚至能从支离破碎的信息中，在于变万化、不可预测的环境中学习。

“但它采取的并非是最优化行为。”经济学家抱怨说。经济学家确信，一个理性的作用者会最大化地使用自己的“功能”。

“相对于何种事物的最大化？”荷兰德问道。让我们来谈谈你们的界定不清的标准：在任何真实世界的环境中，可能性的空间大得使任何一个作用者都无法找到，甚至无法分辨什么是最优化。更何况环境也许会发生无法预料的变化。

“这整个的归纳法概念使我入迷。”阿瑟说。“你可以设想，作用者面对的是界定不清的问题、界定不清的环境和完全不知走向的变化，你就在这种情况下从事经济学研究。当然，你只要略想片刻就会认识到，这就是生命的全部含义。人们经常要在含糊不清的情况下做出决定，甚至连自己都对此不明不白。你是在蹚泥塘，不断改变自己的思想、不断拷贝别人的经验、不断尝试以往的成功经验。事实上，经济学家以前谈论过这种行为方式。但我们现在要找出能够对此做出精确分析的方法，将此融入理论的内核。”

阿瑟记得那段时间发生的一次重要的争论，那场争论触及到了最核心的难题。“那是10月至11月份之间的一次长时间的讨论。”他说。“阿罗、汉恩、荷兰德和我，也许有五六个人吧。我们刚刚认识到，如果你用这种方法来进行经济学研究，如果这就是桑塔费的方法，那么在经济学中也许根本就没有均衡可言了。经济就会像生物环境一样：永远在进化、变迁、永远在探索新的发展领域。”

“现在我们担心的是，似乎不可能在这种情况下研究经济学。因为经济学意味着对均衡的了解。我们习惯于用观察蝴蝶的办法来研究问题，即，把蝴蝶钉在厚纸板上，把它们摆平衡，然后再仔细观察它们，而不是让它们在你身边自由飞翔。所以汉恩说：‘如果事物并不会重复出现，如果事物并非处于均衡状态，我们的经济学家该怎么说呢？你如何预测事情？又如何形成一门科学呢？’”

荷兰德对这个问题非常认真，对此思考良久。他对他们说，让我们看一看气象学吧。天气从来不会是一成不变的，从不会有一模一样的天气。我们对一周以上的气候基本上是无法事先预测的，但我们却能了解和解释天上的各种天气现象，能够辨认出像锋面、气流、高压圈等重要的气象特征。我们能够理解气象动力，能够理解它们如何相互作用，从而在局部地区产生不同的气象状况。一句话，尽管我们无法对气象做完全的预测，但气象学却仍不失为真正的科学。科学的本质在于理解和诠释，而这正是桑塔费希望对于经济学和其他社会科学所做出的贡献。他说，就像气象学能够了解和解释锋面一样，他们对具有动力的社会现象也能够理解和解释。

“荷兰德的回答对我来说是一个启示，让我激动不已。我已经对经济的大部分都无法趋于均衡这个问题思考了近十年了，但却不知道离开了均衡如何从事经济学研究。约翰（荷兰德）的论述一下子就打开了我头脑中的困结，使我茅塞顿开。”

阿瑟说，确实，1988年秋季的这些谈话使我真正认识到，桑塔费概念会给经济学带来何种深远的变化。“许多人，包括我自己都曾经天真地假设过，我们从物理学家和从事计算机学习的人们那儿获得的将是新的算法、新的解决问题的方法和新的技术框架。但结果却大不相同。我们获得的经常是一种新的态度、看待问题的新角度和全新的世界观。”

达尔文的相对论原则

荷兰德在桑塔费度过他一生中最快活的时光。他最喜欢的事莫过于和一群才思敏捷的人坐在一起讨论各种问题。但更重要的是，这些谈话促使他对自己的研究做出了重要的方向性改变。正是这些谈话，再加上他不知道该如何拒绝马瑞·盖

尔曼，使他就范了。

“马瑞不愧为施压能手，”荷兰德笑道。他说，1988年夏末，盖尔曼打电话到密西根找他。“约翰，你一直在做基因算法的研究。现在我们需要一个例子来驳斥创世主义者。”盖尔曼说。

反对“创世科学”的斗争确实一直是盖尔曼热情投身的许多事情之一。他几年前就卷入了这件事。当时路易斯安那州最高法院举行了一个听证会，为是否要把在学校像传授达尔文的进化论一样传授创世科学做为一条法律进行辩论。盖尔曼说服了几乎全美国科学界他称之为“瑞典奖”得主，即诺贝尔奖得主，在一份协助法庭解释的简报上签了名，呼吁撤销这条法律。州立最高法院确实以七票对二票的表决结果否定了这条法律。但事后盖尔曼读到了报纸的报道，才意识到事情远不止是少数宗教狂热者的问题。“人们写信来说：‘当然，我不是一个极端主义分子，我根本就不相信创世科学的一派胡言。但在我们的学校传授的所谓进化论的科学似乎也有问题。这个世界当然不可能由盲目的机会而诞生的。’他们不是创世主义者，但他们也无法相信，仅仅机会和选择就能创造出我们目所能及的一切。”

所以，他对荷兰德说，他的主意是，拿出一系列计算机程序，或甚至计算机游戏也行，向这些人展示这一切是怎么发生的。这些计算机玩艺儿可以向人们揭示，机会和选择的压力，在一代又一代的生长繁衍中，能够产生多么巨大的演化和变迁。你只要安排好原始条件——基本上也就是一个星球——事情就会发展成熟。盖尔曼说，事实上，他正考虑在研究所组织一个研讨会，专门来讨论这样的计算机游戏。荷兰德能为此做些什么吗？

嗯，不，荷兰德实际上不情愿帮这个忙。当然他很欣赏盖尔曼的想法和计划，但他的研究工作已经排得满满的了，其中包括他还要设计一个能应用于阿瑟的经济学模型的分类者系统。从这一点来说，盖尔曼的进化模拟会分散他的精力。再说，他已经完成了基因算法，他看不出来用另一种形式再做一遍能有什么新名堂。所以荷兰德一口拒绝了盖尔曼的要求。

那好吧，盖尔曼说。但为什么不想想再说呢。没过多久，盖尔曼又打电话给他：约翰，这件事确实十分重要。他问荷兰德能不能改变主意。

荷兰德做了再次拒绝，但他已经看到，要坚持下去不会那么容易。所以在和

盖尔曼做了一场长谈之后，他放弃了一切抵抗。“好吧，”他对盖尔曼说：“我试试看。”

荷兰德承认，其实那时他反正也到了强弩之末了。在盖尔曼给他打来的那两次电话之间，他盘算着怎样才能让盖尔曼接受他的拒绝，他也已经开始越来越多地考虑，如果他只能同意的话，他该从何处入手做这件事。而且他开始认识到，做这件事也许会带来许多机会。进化当然远远不止是随机变化和自然选择。进化同时也是实现和自组。但正是在这一点上，尽管考夫曼、朗顿和许多其他人做了最大的努力，但仍然没有人能做出全面的理解。也许这是一个进一步提高认识的机会。荷兰德说：“我开始认真考虑这件事，我认识到，我可以做一个让马瑞满意的模型，同时从研究的角度，我也能在其中做点有趣的事。”

这个模型其实就是他早在七十年代所做的模型的再现。那时他正努力研究基因算法和撰写《适应》这本书。那时他应邀去芬兰的一个学术会议上做一个演讲。为了好玩，他决定找一个全然不同的话题：生命的起源。

他说，他把这个学术报告称为“自发的涌现”，他的论文也是基于这个观点。现在回想起来，他当时的研究角度与自动催化模型相当接近。当时，差不多在同一时期，考夫曼、曼弗莱德和奥托·罗斯特也正在建立自动催化模型，但都是在孤军奋战。“我的论文不是这样一种计算机模型，而是可以用来做数学运算的正式模型。我力图显示，可以设计一个自动催化系统，这个系统可以产生简单的能够自我复制的实体，其计算速度要比通常快得多。”

创世主义者仍然喜欢引用的那些通常的算法，是科学家们在五十年代提出来的。争论的焦点是，自我复制的生命形式不可能起源于初始原汤中的随机性化学反应，因为这样所要求的时间要远远超过宇宙的年龄。这就好像期待英国博物馆地下室的猴子从乱敲键盘开始，进化到能够创造出莎士比亚全集：它们会做到这一步的，但这需要非常漫长的时间。

但荷兰德并不像考夫曼和其他人那样被这个观点击得溃不成军。他想，随机的化学反应固然很不错，但化学催化剂又起到什么作用呢？这就一定是非随机的吗？所以荷兰德在他的数学模式中假设分子的太初原汤，即，由不同长度的弦线连接的任意的符号，受到自由漂浮的“酶”的作用。“酶”就是对弦线发生作用的运作体。“它们就像拷贝（copy）这种非常原始的运作者，依附在任意一根弦

线上，对其进行拷贝。”荷兰德说。“其实我能够证明一个定理。如果一个系统中有这些运行体漂浮其中，假如各种长度的任意弦线，也就是建设砖块，能够相互组合，那么这个系统就会产生自我复制的实体，其产生的速度会远远快于纯粹的随机行为。”

荷兰德把那篇关于自发涌现的论文称为“一个单一的观点”，他以前和后来都再也没有写过这样的论文。但涌现和自组的问题却一直在他的脑海里盘旋不去。事实上，一年前在罗萨拉莫斯时他还就此和法默、朗顿、考夫曼等人做了长时间的反复讨论。“所以，马瑞的高压使我想到了，也许对此进行深入研究时机已经成熟了。也许现在我会为这些想法建立一个真正的计算机模型。”他说。

在断断续续地对分类者系统做了这些年的研究以后，建立一个计算机模型对他来说似乎是手到擒来的一件事。既然在最初的论文中，自由漂浮的运行体具有规则的效果——“如果你遭遇如此这般的弦线，则对其采取如此这般的行动”——那现在要做的事是，就这样把它们写入程序，把这个模型弄得越像分类者系统越好。但荷兰德一开始按这个思路思考就意识到，他的分类者系统有一个严重的哲学上的缺陷。在那篇关于自发涌现的论文上，自发性是真实的，涌现也完全是来自内部的，但分类者系统尽管具有学习的功能和发现突发规则群的能力，但却仍然存在在紧要关头突然出现，从而扭转了局面的外部因素。这个系统仍然依靠程序员的影子操纵。“分类者系统获得奖赏只是因为我决定了输赢的规则。”荷兰德说。

这一点一直令他烦恼不已。撇开宗教的问题不说，现实世界运转正常，并不需要宇宙仲裁人的裁决。生态系统、经济体系和社会等所有这一切都在依循达尔文的相对论原则运行。每个人经常不断地在与其他人相互适应。正因为如此，我们就不可能掂量着一个作用者说：“它的强健度为 1.375。”生物学家分辨说，无论“强健”意味着什么，自从达尔文时代以来，强健度已不可能是一个单一而确定的数字。这就好像是拿一个体操运动员和一个相扑摔跤手做比较，这个问题是毫无意义的，因为这两者之间不存在一个共同的衡量标准。一个特定的生物体的存活和繁衍的能力有赖于它跻身于怎样的生存空间。它周围都有什么别的生物体、它能得到什么样的资源，甚至与它以往的历史也有关。

荷兰德说：“这一观点的改变极其重要。”确实，进化生物学家用一个名词来

表述其重要性：生态系统的生物体不只是演化，而是共同演化。生物体不是像费什这一代生物学家所认为的那样，是通过攀登某种抽象的强健制高点来得以变迁的（古典人口基因学中关于强健最大化生物体的观点，与新古典经济学的关于功能最大化作用者的观点看上去如出一辙）。而在现实中，生物体在共同演化的无限复杂之舞中，经常在循环往复、相互追逐。

荷兰德说，从表面上看，共同演化像是一片混沌。在研究所里，考夫曼喜欢将此比喻成在一个橡皮场景中攀登强健度的制高点。每攀登一步，整个橡皮的场景就会变一次形。然而，这样的共同演化之舞所产生的结果却一点儿都不混乱。在自然界中，花朵靠蜜蜂的帮助来受精繁殖、蜜蜂靠花蜜来维持生命。猎豹追逐吞食瞪羚，瞪羚则能从猎豹的爪下逃生。共同演化产生了无数能够完美地相互适应，并能适应于其生存环境的生物。在人类社会，共同演化之舞产生了同样完美的经济与政治的相互依存之网，比如像同盟与竞争，以及供求关系等。这正是阿瑟的玻璃屋经济的动力之源。在阿瑟的这个概念中，你能够观察到人工经济作用者在相互适应。这是深埋在阿瑟和考夫曼的自动催化技术变迁分析中的动力之源，这也是在这个没有中央权威的世界中隐藏于各国关系之中的动力之源。

荷兰德说，确实，共同演化是任何复杂的适应性系统突变和自组的强大力量。他由此而明白，如果他真要想从最深层次来理解这些现象，他就必须从他的系统中排除来自外部的奖赏机制。但不幸的是，他也知道，对来自外界奖赏的假设是与分类者系统的市场比喻紧密相关的。在荷兰德建立的分类者系统中，每一条分类者规则都是一个极小、极简单的作用者，它们一起参与内部经济体系，在这个内部经济体系中，通用的货币就是每个作用者的“强度”，而唯一的财富之源就是来自最终用户的回报，即来自程序员。如果不彻底改变分类者系统的构架，就根本无法绕过这个问题。

所以，荷兰德要做的就是彻底改变分类者系统的构架。他认为，他需要的是一个全然不同的、更加彻底的对相互作用的比喻：战斗。他设计了一个生态系统，在这个高度简化的生物社区中，数字化的生物体在数字化的环境中游荡，寻找着赖以维生和繁衍的资源，这些资源就是数字化的水、草、壳物、草莓等。当这些生物碰到一起时，它们当然会试图将彼此作为资源。荷兰德说：“我把这与我女儿曼加的‘邮寄怪兽’的游戏做了比较。在这个游戏中，你有很多攻击和防守的

可能步骤,你怎样利用这些可能的步骤,决定了你在与其它怪兽战斗中的输赢。”

更具体一些说,生态系统代表的环境是一片广袤的平原,其中遍布着“泉眼”,从泉眼里喷出以 a、b、c、d 为象征的各类资源。单独的生物体随意地漫游在这个环境中,像平静而温和地在四野吃草的羊一样一路吞食资源,并储存到自己的内部资源库中。但只要当两个生物体相遇,它们马上就会从羊的状态转入狼的状态,相互进攻。

在接下来的战斗中,战斗的结果取决于每个生物体的那对“染色体”,这染色体只是一组资源象征符号串成的两个序列,比如 aabc 和 bbcd。“如果你是其中的一个生物体,那么你就用你的每一序列的‘攻击性’染色体与对方的第二序列‘防御性’染色体相匹配,如果它们俩能够相互匹配,那你就得到高分。这种情形非常类似于免疫系统:如果你的攻击能对应对方的防守,那你就打开了缺口。而对方也对你报之以交互的行动,即,他的攻击与你的防守相匹配。这种相互作用极其简单。主要看你的攻击与防守能力能否强过对手。”

他说,如果回答是肯定的,那你就饱餐一顿:你对手储备库里所有的资料符号和它的两个染色体序列都归你所有了。而且,如果吃掉你以前的对手意味着,目前你的储备库里有足够的资料符号来复制你自己的染色体,那么你就能通过创造一个全新的生物体来自我繁衍,其中也许会有一、两个变种。但如果情况不是这样的话,那你就回去接着吃草。

婉转一些说,这个生态系统不完全是盖尔曼想要的那种,使用者会感到没有什么好玩的,也没有一点儿新奇的图像。但荷兰德才不会去理会这些呢。他会打入一串密码和符号来启动这个系统,然后看到它产生出更多的密码,看到一行行字母数字乱码像瀑布一样在屏幕上涌现出来(那时他的计算机已经升级到苹果 II 型机了)。这个生态系统是荷兰德式的游戏。在这个游戏中他终于排除了明显的外来回报。他说:“这是一个封闭的圈子。你真正回到了‘如果我不能寻找到足够的资源来复制我自己,我就无法生存’这样一个概念。”他抓住了他认为是生物竞争本质的东西。现在他可以把这个系统当作知识乐园,当作一个探索 and 了解共同演化的真正作用的地方。“我将生态系统中的很多现象都列入了研究计划。我想证明,即使用这个极其简单的结构,每种现象也都能够以这种或那种方式显现出来。”

荷兰德最有兴趣研究的生态现象是被英国生物学家里查德·达金斯称为进化的军备竞赛现象。这就是为什么植物的表层演化得越来越坚硬，越来越能产生有毒的化学驱虫剂来抵抗害虫袭击的原因。而害虫也演化出更坚硬的颚和更复杂的化学抵抗机制来与之抗争。在这点上，红皇后假设又是著名的一例。这个假设来自于《爱丽丝梦游仙境》一书。书中的人物红皇后告诉爱丽丝，她必须以最快的速度奔跑才能呆在原来的地方。进化的军备竞赛似乎是自然界日益复杂化、日益专业化的主要的推动力量，正如冷战中真正的军备竞赛是日益复杂化、日益专业化武器产生的主要推动力量那样。

在 1988 年秋季，荷兰德当然无法就进化的军备竞赛做太多的研究。那时他的生态系统还只是一个书面设计。但在一年左右时间里，这个系统就运作得非常成功了。“如果从非常简单的生物体开始，只用一个字母来代表生物体的进攻性染色体，用另一个字母来代表防御性染色体，那么我就会看到多字母染色体的生物体（这些生物体可以通过变种来加长它们的染色体）。它们在共同演化。如果一个生物体把攻势增强了一些，另一个生物体就会增强其防御力量。因此它们越变越复杂。有时它们还会分裂，这就产生了一个新的物种。”

荷兰德说：“这时我看到，如此简单的机制能产生军备竞赛和物种的形成，我的兴趣更加浓厚了。”

特别是，他想了解进化中的一种深层的自相矛盾性。事实上，这种无情的竞争不但导致了进化的军备竞争，也导致了共生现象和其它形式的合作现象。确实，荷兰德把各种形式的合作作为自己的研究兴趣毫不奇怪。这是生物进化的根本问题，更别说这也是经济学、政治科学和所有人类现象的根本问题。在这个竞争激烈的世界上，生物体究竟为什么会相互合作？为什么他们会对轻易就会翻脸的“同盟者”门户开放？

著名的“囚犯的两难境地”很精彩地揭示了这个问题的本质。“囚犯的两难境地”最初是由一群数学家从博弈理论发展而来的。这个故事说的是：两个囚犯被分别关在独牢里。警方对他们俩共同犯的一个案子进行审讯。两个囚犯都可以做出自己的选择：他要么供出他的同伙（即背叛他），要么保持沉默（也就是与他的同伙合作，而不是与警方合作）。现在，这两个囚犯都知道，如果他俩都保持沉默的话，他俩都会被释放，只要他们拒不承认，警方无法给他们定罪。但警

方也完全明白这一点。所以他们给这两个囚犯一点儿刺激：如果他们其中的一个人背叛，告发了他的同伙，那么告发的囚犯就会被无罪释放，同时还会得到一些奖赏。而他的同伙就会被按最重的罪来判决，而且为了羞辱他，还要对他施以罚款，作为对告发者的奖赏。当然，如果这两个囚犯相互背叛的话，两个人都会被按最重的罪来判决，谁也不会得到奖赏。

所以，这两个囚犯该怎么办呢？是相互合作还是相互背叛？从表面上看，他们应该相互合作，保持沉默，因为这样他们俩都能得到最好的结果：自由。但他们不得不仔细考虑。A 犯不是个傻子，他马上就意识到，他根本无法相信他的同伙会不向警方提供对他不利的证据，然后带着一笔丰厚的奖赏出狱而去，让他独自坐牢。这种想法的诱惑力实在太大了。但他也意识到，他的同伙也不是傻子，也会这样来设想他。所以 A 犯的结论是，唯一理性的选择就是背叛同伙，把一切都告诉警方，因为如果他的同伙笨得只会保持沉默，那么他就会是那个带奖出狱的幸运者了。而如果他的同伙也根据这个逻辑而向警方交待了，那么，A 犯反正也得服刑，起码他不必要在这之上再受罚款。所以其结果就是，这两个囚犯按照不顾一切的逻辑得到了最糟糕的报应：坐牢。

当然，在现实世界里，信任与合作很少达到如此两难的境地。谈判、人际关系、强制性的合同和其它许多因素左右了当事人的决定。但囚徒的两难境地确实抓住了不信任和需要相互防范背叛这令人沮丧的真实的一面。让我们看看冷战时期两个超级大国将自己锁定在一场四十年的军备竞赛中，其结果对双方都毫无益处。还有看上去永无止境的阿以僵局，和各国的贸易保护主义的永恒倾向。在自然界，看一看过于相信他人的生物也许会被吃掉。所以这个问题又出现了：为什么所有生物体都敢于相互合作呢？

这个答案大部分来自荷兰德在密西根大学巴奇小组的成员罗伯特·爱克斯罗德组织的一场计算机竞赛。爱克斯罗德是一个政治科学家，对合作的问题久有研究兴趣。他组织这个竞赛的思路非常简单：任何想参加这个计算机竞赛的人都会扮演其中一个囚犯的角色，然后这个程序会被成双成对地融入不同的组合，参与者就开始玩“囚犯的两难境地”的游戏，每个人都要在合作与背叛之间做出选择。但这里有个不同之处：他们不只玩一遍这个游戏，而是一遍一遍地玩上 200 次。这就是博弈理论家所谓的“重复的囚犯的两难境地”，这更逼真地反映了某种经

常而长期的人际关系。而且，这种重复的游戏允许程序在做出合作或背叛的抉择时参考对手程序前几次的选择。如果这两个程序只玩过一个回合，则背叛显然就是唯一理性的选择。但如果这两个程序已经交手过多次，则双方就建立了各自的历史和在这方面的声誉。然而，对方的程序将会如何举动却极难确定。确实，这是爱克斯罗德希望从这个竞赛中了解的事情之一。一个程序能总是不管对手做何种举动都采取合作的态度吗？或者，它能总是采取叛卖行动吗？它是否应该对对手的举动回之以更为复杂的举措？如果是，那会是怎么样的举措呢？

事实上，竞赛的第一个回合后交上来的十四个程序中包含了各种复杂的策略。但使爱克斯罗德和其他人深为吃惊的是，桂冠属于最简单的策略：针锋相对（TIT FOR TAT）。这是多伦多大学心理学家阿纳托·拉帕波特（Anatol Rapoport）提交上来的策略。针锋相对的策略以合作开局，但从此以后就采取以其人之道，还治其人之身的策略。那就是，针锋相对的策略实行了胡萝卜加大棒子的原则。它永远不先背叛对方，从这个意义上来说它是“善意的”。它会在下一轮中对对手的前一次合作给予回报，从这个意义上来说它是“宽容的”。但它会采取背叛的行动来惩罚对手前一次的背叛，从这个意义上来说它又是“强硬的”。而且，它的策略极为简单，对手程序一望便知其用意何在，从这个意义来说它又是“简单明了的”。

当然，因为只有为数不多的程序参与了竞赛，针锋相对策略的胜利也可能只是一种侥幸，但也许不是。在上交的十四个程序中，有八个是“善意的”，它们永远不会首先背叛。而且这些善意的程序都轻易就赢了六个非善意的程序。为了决出一个结果来，爱克斯罗德又举行了第二轮竞赛，特别邀请人们从针锋相对策略那里将桂冠夺过来。这次有六十二个程序参加了竞赛，针锋相对策略又一次夺魁。结论是无可争议的。好人，或更准确地说，善意的、宽容的、强硬的、简单明了的人，确实总是赢家。

荷兰德和巴奇小组的其他成员对这一切当然深为着迷。“我一直对‘囚犯的两难境地’深感苦恼，”荷兰德说。“这是我不喜欢的事情之一。所以看到这个竞赛结果我非常高兴。这真令人鼓舞。这游戏太棒了。”

针锋相对策略的胜利对生物进化和人类事务所具有的深刻含义是显而易见的。爱克斯罗德在1984年发表的《合作进化》一书中指出，针锋相对策略能导

致社会各个领域的合作，包括在最无指望的环境中的合作。他最喜欢举的例子就是第一次世界大战中自发产生的“自己活，也让他人活”的原则。当时在前线战壕里的军队约束自己不开枪杀伤人，只要对方也这么做。处于无人区的军队根本无法与地方军队取得联系，而且他们当然不会是朋友。但使这个原则能够实行的原因是，双方军队都已陷入困境数月，这给了他们相互适应的机会。

在这本书的其中一章中，爱克斯罗德还指出，针锋相对的相互作用使得自然界即使没有智能也能产生合作关系。这一章是他与他的合作撰写人，巴奇小组的生物学家威廉姆·汉弥尔顿共同写的。在这方面他们举了地衣等例子：真菌从地下的石头中汲取养分，为海藻提供了住食，而海藻反过来又为真菌提供了光合作用；金蚁合欢树为一种蚂蚁提供了住食，而这种蚂蚁反过来又保护了该树；无花果树的花是黄蜂的食物，而黄蜂反过来又为无花果树传授花粉，将树种撒向四处。

更广泛地说，共同演化会使针锋相对的合作风格在这个充满背信弃义劣行的世界上蔚然成风。爱克斯罗德说，假设少数采取针锋相对策略的个人在这个世界上通过变种而产生了。那么，只要这些个体能相互遇见，足够在今后的相逢中形成利害关系，他们就会开始形成小型的合作关系。一旦发生了这种情况，他们就能远胜于他们周围的那些背后藏刀的类型。这样，参与合作的人数就会增多。很快，针锋相对式的合作就会最终占上风。而一旦建立了这种机制，相互合作的个体就能生存下去。如果不太合作的类型想侵犯和利用他们的善意，针锋相对政策强硬的一面就会狠狠地惩罚他们，让他们无法扩散影响。爱克斯罗德写道：“这样，社会进化的齿轮就会有所掣肘。”

这本书出版不久，爱克斯罗德就与荷兰德当时带的研究生史蒂芬尼亚·福莱斯特(Stephanie Forrest)共同将这种合作的情形用计算机模拟了出来。问题是，共同演化的一个人群是否能够通过基因算法来找到针锋相对的策略。结果答案是肯定的：在计算机运作之中，会出现针锋相对的策略，或与之类似的策略，并很快在该群人中流行开来。荷兰德说：“当这种情况出现时，我们都高举双手，三呼万岁！”

当荷兰德谈到，研究所的人应该像观察“锋面”那样观察社会科学时，他指的正是这种关乎合作起源的针锋相对的机制。他说，当他在设计开发生态系统时，

他脑海里盘旋的是整个关于合作的问题。合作的机制当然不可能出现在这个程序的第一版本中,因为他在第一个版本中设入了单个生物体总是会互斗这样一种假设。但在新的版本中,他力图完善生物体演化的各个方面,包括其合作的可能性。确实,他想把生态系统设计成某种能够共同演化的、“整体的”模型。

“在研究所,除了生态系统之外,我们还在创建其他三个模型,一个是股市模型,一个是免疫系统模型,还有一个是斯坦福大学经济学家汤姆·沙金特建立的贸易模型。我发现这些系统之间具有非常相似的特点。它们都有‘贸易’的存在,都有以各种方式进行交换的货物,都有‘资源转换’机制,比如通过酶或各种生产过程实现资源的转换。而且它们都有作为技术发明之源的‘交配选择’机制。所以我由此开始创建一个完整的共同演化的模型。我记得史蒂芬尼亚·福莱斯特、约翰·米勒和我坐了下来,努力想弄清楚,如何在生态系统中设入最小的装置,来模拟出所有这些特点?我们的结论是,用不着改变基本的模型,只消在进攻和防御染色体上增加内容就能做到这一点。我提供可以由染色体来界定的额外的分辨体,从而增加了贸易的可能性,这些分辨体类似于商标,或细胞表面的分子标签。同时我必须在这个生态系统中加上一条类似规则的东西,我这是第一次这么做。这条规则是:‘如果其他人显示这样的识别标签,则我就和他进行贸易,而不是进行战斗。’这就产生了合作的演化,以及说谎和模仿这类非常规现象。我基于这样的设想,草拟出如何做一个沙金特式的模型的想法,然后就开始构思如何通过从另一个方向把生态系统设计成看上去像一个免疫系统的模型。现在的生态系统模型正是由此而来的。”

荷兰德说,生态系统的这个统一的版本做得非常成功。这个系统可以演示合作演化,同时也可以演示食肉动物和猎物之间自发形成的关系。这一成功激励我开始研究设计更高级版本的生态系统。“我目前正在编写的最新版本能演示多细胞生物体的演化。所以现在 we 不只限于探讨贸易,我希望我们还能探讨个体和组织的涌现。每个作用者都极力提高其繁殖率,但又总是受到总体组织延续的制约,这里面有许多值得研究的名堂。癌症就是这方面的一个很好的例子,就先不谈美国的自动化工业的情形了!”

荷兰德说,这种模型的实际应用为期还早,但他确信,这方面的一些优秀的计算机模拟也许会比桑塔费其它研究项目对这个世界做出的贡献要大。“如果我

们做得好的话，那些不是科学家的人，比如华盛顿的官员们，可以不需要了解这些模型运行的详情便能够建立这类模型，从而助使他们把握各种政策性选择的真正含义。”他说，从大体上说，这样的模型就像政策的飞行模拟器一样，能够使政治家模拟经济的强迫着陆，而不需要让两千五百万人都搭上这架飞机。这些模型甚至不必做得很复杂，只要能让人对情况的发展和最重要变量的相互作用力产生逼真的感受就行了。

荷兰德承认，当他在华盛顿谈论这个飞行模拟概念时，并没有引起听众的重视。大多数当政的政治家都忙于躲闪迎面而来的打击，无暇顾及下一次飞行的政策问题。另一方面，他显然不是唯一从模拟角度来考虑策略的人。1989年，加州奥林达的麦克塞斯公司推出了一种叫“模拟城市”的游戏。这个游戏可以让玩家扮演市长的角色，面对犯罪、污染、交通堵塞、抗税等种种问题，努力使她或她的城市繁荣昌盛起来。这个游戏很快就跃上了畅销排行榜之首，同时赢得了真正的城市规划管理人的高度信赖。他们说，尽管“模拟城市”的游戏在具体细节上去冗删繁，但它找对了感觉。荷兰德当然也买了这个游戏，而且非常喜欢它。“‘模拟城市’是我所知道的最好的一个飞行模拟概念的例子。”他说。桑塔费研究所正认真和麦克塞斯公司商谈改造“模拟城市”的接口，使其能够用于桑塔费的许多模拟中。荷兰德现在正和麦克塞斯公司一起开发一个用户友好界面的生态系统版本，使任何人都能在上面做计算机实验。

心智的网络实验室

与此同时，阿瑟在桑塔费经济学项目的最初这段日子中也对计算机实验发生了浓厚的兴趣。“我们就像在从事常规经济学那样用计算机程序来做数学分析和定理证明，但因为我们研究的是报酬递增率、学习以及适应性和归纳法这些界定含糊的概念，所以问题往往复杂得无法用数学来解决。因此我们不得不借助计算机来观察事情的发展结果。计算机就像一个网络实验室，我们可以由此观察我们的思想变成行动的结果。”

但阿瑟的问题是，即使在桑塔费，经济学家们一想到用计算机模型也会变得神经高度紧张。“我猜我们不得不在经济学中引入计算机模拟了，但我想我已经

上了年纪，很难改变了。”有一天午餐时阿瑟闷闷不乐地说。

“感谢上帝，我的小伙子，如果定理的时代要退出历史舞台了的话，我也就随之而退场了。”六十多岁的汉恩在另一个场合这么说。

阿瑟不得不承认经济学家的怀疑和犹疑是有一定道理的。在很多方面，他自己也有同感。他说：“在经济学领域，计算机模拟全无成功之例。在我个人的早期经历中，我和我的同事杰弗里·麦克尼考花了很长时间来观察模拟模型在经济学的作用，我们得出了两个结论，这两个结论现在已成为普遍的共识。第一个结论是，总的来说，只有那些不能做分析性思考的人才借助计算机模拟。经济学要求用演绎法和逻辑分析，而计算机模拟却正好与之相反。第二个结论是，你只要把自己的假设设置于计算机模型，就可以从计算机模拟中想得到什么结论就能得到什么结论。人们经常从基本的政治角度出发，比如，我们需要降低税收，那么就做一个对降低税收如何如何有利的假设。我和杰弗里设计了一种游戏，它能够深入到模型里去发现改变一个假设怎样改变了整个结果。其他人也做过类似的事。所以计算机模拟在社会科学，特别是在经济学领域里声名狼藉，就好像是无赖的手法。”

事实上，即使是这些年以来，阿瑟发觉自己对“模拟”这个词仍然有一种警惕心。他和他的同事们更愿意将经济学程序称为“计算机实验”，这个词体现了荷兰德和桑塔费的物理学家所实践的某种严谨性和准确性。他说，荷兰德和物理学家们从事计算机模拟的方法给了他很大的启发。“我认为这太妙了。到了极为小心的人手里，所有的假设都经过仔细斟酌，整个算法明确清晰，模拟就像实验室的实验一样具有可重复性和严谨性，在这种情况下，我发现计算机模拟是无懈可击的。事实上，物理学家在告诉我们，有三种可以从事科学研究的方法：数学理论、实验室的实验和计算机模拟。你必须反复使用这三种方法。当你发现计算机模拟的结果似乎不符合常情，你就回过头去从理论上理解它，然后再以理论为依据，回到计算机模拟或实验室去印证。对我们许多人来说，似乎经济学研究也可以照此办理。我们开始认识到，以往的经济过于自我局限，只对能用数学进行分析的问题做研究。但现在我们进入了归纳法的世界，一切都变得极为复杂，我们可以用计算机实验来拓展研究的范围。我把这视为一个势在必行的发展方向，一种解放。”

当然,阿瑟希望桑塔费经济学项目能开发出足以说服其他经济学家的计算机模型来。或,起码不要使他们再次失望。确实,到1988年秋天时,阿瑟和他的经济学项目组已经用了好几个这样的计算机实验了。

阿瑟与荷兰德的合作直接诞生了最初的玻璃房经济的设想。“1988年6月,我到桑塔费后意识到,我们需要从一个切实的问题入手,而不是一开始就建立完整的人工经济学模型。这个想法引出了人工股市模型。”

阿瑟解释说,在经济学的所有陈芝麻烂谷子的问题中,股市行为是最古老的问题之一。这是因为新古典经济学发现华尔街完全不可理喻。有论点说,既然所有的经济作用者都是完全理性的,那所有的投资者必然是完全理性的人。而且,既然这些完全理性的投资者对所有股票的长远预期获利都掌握同样的信息,那他们对每股股值的估计,即,在扣除利率后的预期净利,就应该总是一致的。照此推理,这种完全理性的市场就永远不可能陷入投机性的炒做和崩盘,股市最多只会由于对各种股票预期的最新信息而稍有波动。无论怎样,根据逻辑推理,纽约股票交易所大厅必然是个非常安静的地方。

但事实上,纽约股票交易所大厅几乎成了一个失控之地,形形色色的泡沫和崩盘在大起大落,横扫交易大厅,就更别提人群的恐惧心理和不安全感、以及狂喜和聚众闹事的欲念搅成一锅粥的情状了。如果有个火星人订阅一份星际版的华尔街日报,读完报纸后也许会认为股市是一个什么活物。阿瑟说:“在有关股市的报道中,记者总是用描述心理的词汇来描述股市:股市极度紧张不安、股市萎靡沮丧、股市信心十足。”股票交易所本身就是人工生命的一种形式。阿瑟说,所以他们在1988年认为,用桑塔费的方式来模拟股市似乎是唯一能够解释股市的方法。“我们的想法是做小面积的剖析,先用常规的新古典经济学的完全理性的作用者的假设来做模拟,然后再用能够像人类那样学习和适应环境的人工智能作用者取而代之。这个模型有一个股市,作用者可以在其中自由买卖。随着他们对贸易规则的掌握,你会看到各种市场行为涌现出来。”

问题显然在于,会发生什么样的涌现行为?这些作用者会像常规经济学描述的那样安然自若地进行股票交易吗?或者,它们的行为模式会如风起云涌的股市那样逼真吗?阿瑟和荷兰德毫不怀疑会发生后一种情况。但事实上,即使在研究所,很多人也对此抱怀疑态度。

阿瑟对 1989 年 3 月份的一次会议的记忆尤为深刻。当时荷兰德从安·阿泊返回研究所，另外还有几个人也来参加在小教堂举行的这个经济学研讨会。当谈到股市模型的这个题目时，沙金特和明尼苏达大学的莱蒙·马里蒙都激烈地争辩说，适应性作用者叫的价会很快向股票的“基价”靠拢，也就是，肯定会出现新古典经济学理论预期的那种情况。他们说，股市也许会出现偶尔的上下波动，但作用者无法真正别有所为。基价就像一个无限巨大的万有引力场一样将它们紧紧吸引得不离左右。

“我和约翰（荷兰德）相互望望，然后一个劲地摇头。我们说，这不可能。强烈的直觉告诉我们，我们建立的股市具有自我组织行为方式的巨大潜能，会越变越复杂，新的、丰富多采的行为会涌现出来。”阿瑟说。

阿瑟回忆说，他们就此发生了一场激烈的争论。当然，阿瑟知道，自从 1987 年 9 月召开了第一次经济学研讨会以后，沙金特对荷兰德研究学习的方式就一直持有浓厚的兴趣。其实沙金特早在这之前就开始研究学习对经济行为的影响。而马里蒙当时就像阿瑟一样对计算机实验极感兴趣。但在阿瑟看来，马里蒙和沙金特似乎并不真正把学习当作研究经济学的新视角。他们似乎把学习当作巩固常规经济学理论的一种方法，就好像是在用这种方法来理解经济作用者在不完全理性的情况下是如何摸索到新古典经济学的行为模式的。

公平地说，阿瑟必须承认，这两个人有理由这样认为。沙金特在他研究的“理性的期望”理论之外，还掌握了一些实验证据来支持他们的论点。研究者证明，在一系列让学生们扮演股票交易者的计算机模拟实验中，实验对象的交易价格很快就会集中到股票基价上。而且，马里蒙和沙金特也在进行他们自己的桑塔费式的计算机模拟实验：一种被称为“威克塞尔三角”的老问题。情节是这样的：三个不同类型的作用者生产和消费三种不同类型的货物，其中之一最终变成了一种交换的中介：钱。当马里蒙和沙金特用分类者系统替代了原来模型中的理性作用者后，发现这个系统每一次都回到新古典经济学的结论上（也就是说，交换的媒介是库存成本最低的货物——比如说，是金属磁盘，而不是鲜牛奶）。

尽管如此，阿瑟和荷兰德仍然不放弃努力。阿瑟说：“问题是，逼真的适应性行为真的会导致理性期望的结果吗？我认为，答案是肯定的，但这只有在面对非常简单的问题、或这个问题一再出现的情况下才有可能。从根本上说，理性期

望的理论是说，人类并不愚蠢。这就像玩连圈叉的井字游戏一样(tic-tac-toe)，几次以后就能学会预测对手的行为，于是双方就能把这个游戏玩得滴水不漏。但如果是在一个决不会重复出现的情况下，或在非常复杂的情况下，作用者必须做大量的算计，那么你对作用者的要求就太高了。因为你这就是在要求它们了解自己的期望、把握市场的驱动力。把握其他人的预期。以及其他人对其他人的预期的预期、等等。很快，这些倒霉的作用者就会陷于无法预期的状况。”在这种情况下，阿瑟和荷兰德认为，作用者就会处于极不平衡的状况，导致理性期望值的“万有引力”就会变得非常微弱，动力和意外事件就会主宰一切。

阿瑟回忆说，这场既友好又激烈的争论持续了一段时间。当然，结果双方谁也没有退让。但阿瑟明显感到这对他是一场挑战：如果他和荷兰德相信他们的股市模拟能展现逼真的涌现行为，那么，他们就必须证明这一点。

但不幸的是，股市模型的编程工作时续时断。1988年6月的一天，在午餐时间，阿瑟和荷兰德粗拟了这个计算机模拟的初稿。当时他们俩都在桑塔费的首期复杂系统暑期班上担任讲师。那年夏天，荷兰德回到安·阿泊，用阿瑟唯一了解的计算机语言，BASIC语言，编写了完整的分类者系统和基因算法（这使荷兰德终于摆脱了用十六位进制符号编写程序。他只得自学了BASIC语言。但从此他只用了BASIC语言编写程序）。那年秋季，在经济学项目开始的最初几个月，荷兰德回到了桑塔费。他一回到桑塔费就和阿瑟一起进一步开发股市模型。但由于将此编写为生态系统占去了荷兰德许多时间，而阿瑟又苦于行政事务缠身，所以股市模型编写进展缓慢。

更糟糕的是，阿瑟开始意识到，尽管分类者系统的概念有许多强处，但使用起来却麻烦甚多。他说：“起初，桑塔费的人都认为分类者系统是全能的，能解答股市的问题，也能在早上替你煮咖啡。所以我曾经和荷兰德开玩笑说：‘嘿，约翰，分类者系统真的能够产生低温核聚变吗？’”

“到了1989年初，戴维·莱恩和里查德·派尔默组织了一个专门研究荷兰德思想的小组，每周有四次午餐前的聚会。那时候荷兰德已经离开了桑塔费，但我们花了一个月的时间来研究他的《归纳法》一书。当我们深入到分类者系统技术之中的时候，我发现，对分类者系统的构架设计必须十分小心，才能保证它在实际中能够运用，而且还必须对规则之间环环相扣的环节设计得十分周密。同时，

你设计的可能会是‘深度’分类者系统，那就是，一个规则激活另一个规则、再激活另一个规则，从而引起长长的连锁反应的分类者系统，或者，你设计的可能是‘广度’分类者系统，即，刺激—反应式的系统，它能在稍有差别的情况下能产生 150 种反应方式。我的经验是，广度系统的学习功能非常强，而深度系统则不然。”

阿瑟和荷兰德以前的学生史蒂芬尼亚·福莱斯特对这个问题做了许多探讨。福莱斯特现在在新墨西哥大学，是桑塔费研究所的常客。她告诉阿瑟，问题出在荷兰德的水桶队列算法上。这个算法能够对各种规则论功行赏。如果水桶队列算法能够倒过来奖励上几代规则，那等到倒溯到这些规则的鼻祖的时候，奖品已经所剩无几了。所以毫不奇怪，为什么浅显系统的学习功能较佳。确实，对水桶队列算法的提炼与改良已经成为分类者系统研究中最紧迫的一环了。

阿瑟说：“这些使我开始对分类者系统产生了怀疑。随着我对这个系统越来越熟悉，这个系统的弊端也就变得越来越明显了。然而，我越是仔细研究这个系统，就越是叹服其中所包含的思想：你的脑子里可以有許多相互矛盾的假设，这些假设可以相互竞争，因为这样你就不必把某种专家预先编入这个系统，我真的非常欣赏这个思想。我开始从与荷兰德略有不同的角度来构想他的系统。我把它想成是普通的计算机程序，有许多模数和分支点，但其程序每次都要自己判断究竟该激活哪一个模数，而不是沿着固定的序列来激活这些模数。一旦当我开始把它们构想成是一种自我适应的计算机程序，我就感到顺畅得多了。我认为这正是荷兰德的成就之所在。”

他说，不管怎样，他们终于完成了股市模型的版本。沙金特对最初的设计提出了许多简化办法，对这个版本的出台给予了很大帮助。1989 年春末，杜克大学物理学家里查德·派尔默也加入了进来，以他高超的编程技术大力支持了这个模型的出台。

同时，派尔默和荷兰德、阿瑟一样，也被这个模型深深吸引住了。他说：“这个模型关系到自我组织，这正是我深感兴趣的研究领域。大脑是怎样组成的？什么是自我意识的本质？生命是怎样自发产生的？我的脑子里一直盘旋着这些重大的问题。”

另外，他正在为自己已经花费了大量时间来从事的另外一个桑塔费研究项目

感到焦虑不安。这个项目就是“双重喊价竞赛”模型，这是他和卡内奇麦伦大学的约翰·米勒和威斯康星大学的约翰·鲁斯特共同设计开发的。这个最终于 1990 年初举办的竞赛是在 1987 年 9 月第一次经济研讨会上构思的。这个模型在原理上与爱克斯罗德在 10 年前设计的模型非常类似。但这个模型不是重复运作“囚犯的两难境地”的游戏，而是包含了交易者对付像股票交易这样的商品市场的各种策略。是不是最好一开盘就叫价？是不是先别做声，等到最好的价格出现时再叫价？因为买卖双方在这样的市场上都是自发叫价的，所以这个系统就被称为“双重叫价”，而答案却是冥然不知的。

派尔默说，这个竞赛游戏应该非常有趣，对他和他的同事来说，为这个游戏编程当然也是一个很大的挑战。但这个模型中的作用者基本上是静态的。对他来说，这个竞赛游戏根本就没有阿瑟和荷兰德式模型的神奇魅力。在阿瑟和荷兰德式的模型中，你可以看到作用者越变越复杂，能够发展为自己真正的经济生命。

派尔默从早春就开始以全副精力投入了股市模型的设计和开发。1989 年 5 月，他和阿瑟完成了股市模型的初版。按照他们设计的意图，这个模型在开始时，其作用者完全愚昧无知，都是一些随意制定的规则，让它们自己学会如何叫价。他们发现，这些作用者就像他们预期的那样，学习进展神速。

他们观察到，这个系统每一次运行的结果都像见了鬼似地符合汤姆·沙金特的预言。阿瑟说：“在这个模型中，单股的股息是三美元，折扣率为百分之十，这样，股票的基价为三十美元。而股价真的就在三十美元上下浮动，证明了常规经济学理论的正确！”

阿瑟深感懊丧和烦恼。现在唯一可做的似乎是把沙金特从斯坦福大学叫回来，祝贺他的胜利。“但有一天早上我和里查德走进办公室，在我的苹果机上运作这个系统。我们一直在观察其运作，一边讨论着如何改进这个程序。我们注意到，每当价格达到三十四美元时，作用者就会买进。我们可以把这种情况图示化，情况似乎很异常。我们以为是这个模型出了错误。但当我们又苦苦思考了一个多小时以后，才认识到这个模型并没有错误，而是这些作用者发现了技术分析的原始形式。那就是，这些作用者开始相信，如果股价上涨到一定程度，就会继续看涨，那就买进。但当然，这种认识变成了一种自圆其说的预言：如果在股价达到

三十四美元时有足够的作用者意欲购买，那就会造成股价继续看涨。”

而且，当股价跌到二十五美元时，就会发生正好相反的情况：作用者都会尽力卖出，这样就对股市看跌也形成了一个自圆其说的预言。这正是股市出现泡沫和崩盘的道理！阿瑟为之精神大振，就连平时最小心翼翼的派尔默都受到了他热情的感染。阿瑟说，这个结论在这个模型的最新的、更完整的版本中一再得到确认。但在 1989 年 5 月的早晨他们就意识到他们成功了。

“我们马上意识到，我们已经从这个系统中窥见了突发特征的一线希望，看到了一线生命的曙光。”

第八章 等待卡诺

1988年11月底，罗萨拉莫斯非线性研究中心的秘书交给朗顿一个密封的、看上去很像公函的信封，里面是实验室主任塞格弗雷德·海克（Siegfried Hecker）的一份备忘录：

我们最近注意到，你已经在这里领取了三年的博士后奖学金，但却仍未完成博士论文。根据能源部第40—1130条规定，我们无法继续雇用领取了三年博士后奖学金后仍未获博士学位的人。但由于行政工作上的差错，我们忽略了提前向您提出可能会违背这条规定的警告。为此，我们已从能源部有关部门得到延期的获准，你不必退还1989年度的博士后奖学金，但除非你已获得了博士学位，否则我们对你的任命只能顺延至1988年12月1日。

一句话，“你被解雇了。”朗顿惊恐万状地跑去找非线性研究中心的副主任加利·多伦（Gary Doolen）。多伦煞有介事地告诉他确有其事，确实有这么一条规定，海克确实有权这么做。

直到现在，朗顿一回忆起这件事还心有余悸。这些促狭鬼让他整整傻了两个小时后才给了他一个令他惊喜的生日晚会。杜撰了这份备忘录，导演了这场恶作剧的法默说：“能源部规定的号码其实已经泄露了天机。克里斯（朗顿）今年四十岁，他的生日是11月30日。”

朗顿这才惊魂落定，兴高采烈地和大家一起尽享生日晚会，毕竟不是每一个博士学位候选人都会过四十岁生日的。法默甚至还在研究中心和理论小组朗顿的同事中发起凑钱给朗顿买了一把新的电吉它作为生日礼物。“但我确实想激朗顿尽快完成他的博士论文，因为我真的担心他迟迟拿不到博士学位，终会成为隐患。我怀疑可能真的有某种对朗顿不利的规定。”法默说。

人工生命论文

朗顿非常清楚法默的良苦用心，其实他早就对法默的用意心领神会了。没人

比他自己更急于早日完成博士论文了。自人工生命研讨会召开后，他的研究有了长足的进展。他已经把原来在密西根大学的计算机上运行的细胞自动机模型移到了罗萨拉莫斯(SUN)工作站上，他还为探测混沌边缘的相变做了大量的计算机实验，甚至还深入阅读了物理学方面的资料和文献，对如何用纯粹的统计方法来分析相变做了研究。

但这一年就这么过去了，他还没来得及实际动手撰写论文。自人工生命研讨会以来，他把大多数时间都耗费在研讨会之后的工作上。乔治·考温和戴维·潘恩斯都请他以桑塔费研究所的名义将研讨会的学术论文编辑出版，作为研究所准备出版的关于复杂科学的系列丛书中的一本。但潘恩斯和考温都要求，这些论文要经过研究所之外的科学家按在其它科学刊物上发表文章的规矩严格审定。他们对朗顿说，桑塔费研究所决不能有轻薄草率之举。人工生命必须是一门科学，决不是视频游戏。

朗顿非常赞同这个观点，他自己也一直是这样认为的。但这样做的结果是，他不得不耗费数月时间来编辑这些论文，这意味着把四十五篇论文各读上四遍，把每一篇都分别寄给几个审稿人，再把审稿人的修改和重写意见寄给原作者，还要想办法哄所有作者按时完成任务。然后他又不得不再耗费数月时间来撰写该书的前言和概论。他叹息到：“为此得花费大量的时间。”

但另一方面，这整个过程对他来说极有教育意义。“这就像是做博士资格研究，你得学会去其糟粕、取其精华，这使我真正变成了这个领域的专家。”该书的编辑业已完成，其严谨性完全符合考温和潘恩斯的要求。朗顿感到他所创造的远远不止是一系列的论文。他的博士论文或许仍然陷于困境，但研讨会的成果却为将人工生命变成一门严肃科学打下了基础。而且，朗顿在把参加人工生命研讨会的人的思想和洞见提炼成该书的前言和四十七页的概论的同时，也为人工生命的要旨撰写了一份最为清晰的宣言。

他在这份“宣言”中写到，人工生命与常规生物学基本上是相反的。人工生命不是用分析的方法——不是用解剖有生命的物种、生物体、器官、肌理、细胞、器官细胞的方法——来理解生命，人工生命是用综合的方法来理解生命。即，在人工系统中将简单的零部件组合在一起，使之产生类似生命的行为。人工生命的信条是，生命的特征并不存在于单个物质之中，而存在于物质的组合之中。其运

作原则是，生命的规律一定是其动力形式的规律，这种规律独立于四十亿年前偶然在地球上形成的任何特定的碳化物细节之外。人工生命将用计算机，或也许是机器人等新型媒介来探索生物学领域的其它发展的可能性。人工生命研究人员将能够取得像宇宙空间科学家把宇宙探测船发射到其它星球上那样的成就。也就是，从宇宙的高度来观察发生在其它星球上的事情，从而对我们自己的世界有新的了解。“只有当我们能够从‘可能的生命形式’这个意义上来看待‘已知的生命形式’，才能真正理解野兽的本质。”

他说，从抽象的组织角度来看待生命，也许是人工生命研讨会上产生的最为瞩目的思想。这一思想与计算机科学紧密相关绝非偶然。这两者之间有着许多共同的知识之源。人类一直在探索自动机的奥秘，即，机器何以能够产生自己的行为。自法老王时代开始，埃及工匠利用水滴的原理发明了时钟。公元一世纪，亚力山大的西罗撰写了气体力学的论文。在这篇论文中，他描述了加压的气体如何使各种类似动物和人类形状的小机器产生简单的运动。一千多年以后，在欧洲进入伟大的时钟工业时代后，中世纪和文艺复兴时期的工匠便设计出日益精巧的、可以敲击报时的钟表。有些公用钟表甚至还有许多数字符号，具有计时和报时的全套功能。在工业革命时期，从时钟自动化技术又发展出更加高精尖的过程控制技术，即，工厂的机器由一组复杂的转动凸轮和相互连接的机械手所操纵。十九世纪的设计师们在把可移动凸轮和具有可移动栓的转动鼓轮这些改良的技术结合进来后，研制出了一种能够在同一台机器上产生多种动作序列的控制器。随着二十世纪初计算机的发展，“这种可编程的控制器的引入便成为一般功能计算机早期发展的雏形。”

与此同时，逻辑学家正在把逻辑步骤的程序变成正式概念，从而奠定了计算机一般性理论的基础。二十世纪初，阿龙佐·彻基 (Alonzo Church)、科特·歌德尔 (Kurt Godel)、爱伦·图灵和其他一些人都指出，无论机器是用何种材料制造的，机械流程的实质，即导致机器行为的“东西”，根本就不是机器本身，而是一种抽象的控制结构，是可以用一组规则来表示的程序。朗顿说，正是这种抽象的东西使你可以从一台计算机里取出一个软件，插入另一台计算机上运作：机器的“机制”在于软件，而不在于硬件。这正是朗顿十八年前在麻省综合医院得到的启示。而一旦你接受了这一点，那就不难理解，生物体的“生命力”同样

也在其软件之中，即，存在于分子的组织之中，而不是存在分子本身。

但朗顿承认，这种认识的跨越并非像看上去那么轻而易举，特别是当你考虑到生命呈现出怎样的流动性、自发性和有机性，而计算机和其它机器呈现出怎样的受控性，接受这种认识就更难了。初看上去，甚至从机器的角度来谈论有生命的系统都显得非常荒唐。

但答案就存在于进一步的伟大洞见之中，这也是人工生命研讨会上一再出现的主题：有生命的系统就像机器，这很对，然而生命体这台机器却具有与一般意义上的机器全然不同的组织形式。有生命的系统似乎总是自下而上地。从大量极其简单的系统群中涌现出来，而不是工程师自上而下设计的那种机器。一个细胞包含了许多蛋白、DNA 和其它生物分子；一个大脑包含了许多神经元；一个胚胎包含了许多相互作用的细胞；一个蚂蚁王国包含了许多蚂蚁。从这个意义上来说，一种经济包含了许多公司和个人。

当然，这正是荷兰德和桑塔费研究所的同仁们在复杂的适应性系统一般性理论中所要强调的概念。区别在于，荷兰德把这种群体结构主要看成是一堆建设砖块，它们可以通过各种重组而产生非常有效的进化，而朗顿则主要视其为能够产生丰富多采的、类似生命的动力的机会。朗顿最终用斜体字归纳道：“我们从计算机模拟复杂的物理系统中获得的最为惊人的认识是：复杂的行为并非出自复杂的基本结构。”“确实，极为有趣的复杂行为是从极为简单的元素群中涌现出来的。”

这是朗顿由衷的认识。这段阐述非常清晰地反应了他发现自我复制的分子自动机的经验。这一阐述也同样强调了人工生命研讨会上的一场最为生动的演示：克内基·雷诺尔兹的“柏德”群。雷诺尔兹在这个计算机模型中只用了三条仅限于局部的和“柏德”之间相互作用的简单规则，而并没有编写全面的、自上而下的详尽规则，来告诉“柏德”群如何采取行动，也没有编写任何规则来告诉“柏德”群如何马首是瞻地听从头领“柏德”的指挥。但正是这些局部的规则使得“柏德”群对不同的情况产生了有机的应变能力。这些规则总是趋于将“柏德”拉向集中，在某些方面有些像亚当·斯密的那只看不见的手，总是要使供与求趋于均衡。但正如经济领域中的情形一样，聚集的趋向只不过是一种趋向而已，其结果却是，所有的“柏德”都根据近邻的行为作出反应，所以，当一群“柏德”碰到

像柱子这样的障碍物时，每一个“柏德”就会各行其是，整个群体就这样毫不困难地兵分两路，从障碍物的两侧流绕而过。

朗顿说，如果用一组自上而下的规则来做这件事，整个系统行动起来就会麻烦、复杂到不可思议的地步：各种规则要告诉每一个“柏德”在碰到每一种可以想象到的情况时应该采取何种具体的行动。他确实见过这样的系统，它们总是显得非常愚蠢和不自然，更像是一个动画片，而不像是栩栩如生的生命。另外，由于这种自上而下的系统根本不可能把每一种情况都考虑到，所以这种系统总是一碰到复杂的情况就变得无所适从，总是表现得既僵硬又脆弱，常常会于踌躇犹豫之中嘎然而止。

乌德勒支大学的阿利斯蒂德·林登美尔(Aristid Lindenmeyer)和里基那大学的普莱赞梅斯劳·普鲁辛凯乌泽(Prezemyslaw Prusinkiewicz)的图示植物也同样是这种自下而上的、群体性思考的模式的产物。这些图示植物不是画在计算机屏幕上的，而是“种”到计算机屏幕上去的。它们起初是单个的茎枝，然后有一些简单的规则来告诉每一个茎枝怎样生出叶子、花朵和更多的分枝来。这些规则同样没有包含植物最终的整体形状应该是什么样的这类的信息，只是模拟植物生长过程中众多细胞怎样各自区分开来、怎样相互作用。但这些规则却产生了看上去极逼真的灌木、树木、或花朵。事实上，经过仔细筛选的规则是能够产生非常近似已知物种的计算机植物的。(而如果对那些规则做哪怕是极其微小的改变，都会导致产生完全不同的植物。这说明，对进化来说，发展进程中的微小改变多么轻易就能导致外形上的巨大改观。)

朗顿说，人工生命研讨会一再强调这样一个主题：获得类似生命行为的方法，就是模拟简单的单位，而不是去模拟巨大而复杂的单位。是运用局部控制，而不是运用全局控制。让行为从底层涌现出来，而不是自上而下地做出规定。做这种实验时，要把重点放在正在产生的行为上，而不是放在最终结果上。正如荷兰德喜欢指出的那样，有生命的系统永远不会安顿下来。

朗顿说，确实，当你把这个自下而上的概念当作其逻辑结论来看待时，你就会把它视为一门新型的、纯粹的科学——生机论。这个古远的概念说的是，生命包含着某种能够超越纯物质的能源、力量、或精神。而事实上，生命确实能够超越纯物质。这不是因为有生命的系统是被某种物理和化学之外的某种生命本质所

驱动的，而是因为一群遵循简单的互动规则的简单的东西能够产生永远令人吃惊的行为效果。他说，生命也许确实是某种生化机器，但要启动这台机器，“却不是把生命注入这台机器，而是将这台机器的各个部分组织起来，让它们产生互动，从而使其具有‘生命’。”

朗顿最后说，从人工生命研讨会的发言中提炼出来的第三个伟大洞见是：从生命的特点在于组织，而不在于分子这一点上来说，生命有可能不仅只是类似计算机，生命根本就是一种算法。

朗顿说，要知为何，就得从以碳为基础的常规生物学开始解释。生物学家们在这一个多世纪以来不断指出，活的生物体的最为显著的特点之一在于其基因型，即编入其 DNA 中的各种基因蓝图。生物体的结构正是这些基因蓝图所创造的。当然，在现实中，活细胞的实际运作极为复杂，每一个基因对每一种单一的蛋白分子来说都是一个基因蓝图，成千上万个蛋白分子在其所在的细胞内以各种方式进行着相互作用。实际上，你可以把基因型想成是许多并行运作的小计算机程序的组合，每一个程序代表一个基因，当它们被激活时，所有这些被激活的程序就会既相互竞争又相互合作，陷入逻辑冲突之中。而作为一个集体，这些相互作用的程序却能够完成整体的计算任务，这就是表现型，即，有机体发展过程中呈现出来的结构。

接下来，从以碳为基础的生物学，移到人工生命这个更为一般性的生物学，这一概念也同样适用。为了说明这一事实，朗顿杜撰出泛基因型 (generalized genotype) 这个词，或缩写为 GTYPE，来特指任何低层次规则的组合。他又杜撰出泛表现型 (generalized Phenotype) 这个词，或缩写为 PTYPE，来特指在某种特定环境中这些被激活的规则导致的结构和 / 或行为。比如，在一个常规的计算机程序中，泛基因型显然就是计算机编码本身，而泛表现型就是这个程序对计算机操作者所输入的数据的反应。在朗顿自己的自我繁衍分子自动机模拟中，泛基因型就是一组专门告诉每一个细胞如何与其邻居相互作用的规则，泛表现型就是这组规则的总体行为模式。在雷诺尔兹的“柏德”程序中，泛基因型就是三条指导每一个“柏德”飞行的规则，而泛表现型则是一群“柏德”聚集成群的行为。

更为广泛地说，泛基因型的概念和荷兰德的“内在模型”的概念基本上如出一辙。唯一的区别在于，朗顿的概念比荷兰德的概念更强调其作为计算机程序的

作用。毫不奇怪，泛基因型的概念完全适用于荷兰德的分类型系统，一个特定系统中的泛基因型正是一组分类型规则。这个概念同样适用于生态系统模型。在这个模型中，一个生物的泛基因型包含其进攻和防御两个染色体。这个概念也适用于阿瑟的玻璃房经济的模型。在这个模型中，人工作用者的泛基因型就是通过刻苦努力而学会的一组经济行为规则。从原则上说，这个概念适用于任何复杂的适应性系统，只要其系统的作用者是根据一组规则发生相互作用，这个概念就能适用。这些系统的泛基因型不断发展、呈现为泛表现型，其实就是在进行一种计算。

而这个概念的美妙之处在于，一旦你看到了生命和计算之间的关系，你就能从中推导出大量的理论。比如说，为什么生命总是充满了出其不意的事件？因为总的来说，即使从原则上，我们也无法从某组特定的泛基因型来预测其泛表现型会产生什么样的行为。这就是不可断定性定理，这是计算机科学的最为深刻的研究成果之一：除非计算机程序完全无足轻重，否则，要知道结局的最快途径就是运行这个程序，看它会产生什么结果。没有任何通用性程序能够比这更快地扫描计算机密码、输入数据，然后给你一个结果。老辈人认为计算机只是按程序员的指令运作，这个想法完全正确，但其实又风马牛不相及。任何计算机编码，一旦复杂到让人感兴趣的程度，就总是会产生让程序员都吃惊的行为表现。这就是为什么任何像样的计算机软件包在上市之前都要做反反复复的测试和调试，这也就是为什么用户总是能够很快发现，该软件永远调试不到尽善尽美的程度。对人工生命而言，最重要的是，泛基因型和不可断定性概念解释了为什么一个有生命的系统可以是一个完全在程序，即泛基因型控制之下的生化机器，但却仍然会产生令人吃惊的、自发的泛表现型行为。

反过来说，计算机科学的其他深刻的定理表明，你不可能把这个概念倒过来应用，你不可能预先设定某种你想要的行为，即某种泛表现型，然后找到一组能够产生这种行为的泛基因型。当然，在实践中，这些定理不可能阻挡程序员利用经过严格测试的算法来准确地解决在定义清晰情况下的特殊问题。但在定义不清、时常变动的生命系统存在的环境中，似乎只有不断尝试、不断出错这一条道路可走，这便是众所周知的达尔文的自然选择法。朗顿指出，这样的过程也许显得极其残酷且历史漫长。大自然编程其实就是建立各种由许多随意形成的不同泛基因型的机器，然后再淘汰掉那些不能胜任的机器。这段混乱而漫长的过程其实

是大自然所能做出的最佳选择。同样，荷兰德的基因算法对计算机编程而言，或许也是对付定义不清、乱麻似的问题的唯一现实的办法。朗顿写道：“这很可能是寻找具有特定泛表现型的泛基因型的唯一有效的通用程序。”

在概论的撰写中，朗顿非常谨慎地避免宣称人工生命研究人员所研究的实体“真正”是活的。它们显然并不是活物。计算机中的“柏德”、植物和自我繁衍分子自动机，所有这些不过是模拟而已，是一种高度简化了的、离开计算机就不存在的生命模型。但尽管如此，既然人工生命研究的全部意义就在于探索生命的最根本的法则，那就无法回避这个问题：人类最终能够创造出真正的人工生命吗？

朗顿发现很难回答这个问题，因为没有任何人知道何为“真正的”人工生命。也许是某种基因建构的超级生物体？是一个能够自我繁衍的机器人？或是一种受过过度教育的计算机病毒？准确地说，生命究竟是什么？你怎么能确知你创造了生命或没有创造出生命？

毫不奇怪，这个问题在人工生命研讨会上引起了广泛的讨论，大家不仅在会上，而且在会下的楼道里和餐桌上也在大声而热烈地争辩这个问题。计算机病毒是一个最为热门的话题，许多与会者都感到，计算机病毒已经快要越线了，令人十分沮丧。恼人的计算机病毒几乎涉及到了所有衡量生命的尺度。计算机病毒能够通过自我复制而转移到另一台计算机上，或自我复制到软盘上，并进一步繁衍和扩散。它们能够像 DNA 一样把自己储存在计算机密码里，可以借主体（即计算机）的功能来实现自己的功能，就像真正的病毒能够借助受感染细胞的分子的新陈代谢功能一样。它们也可以在自己的环境中（计算机中）对刺激做出反馈，甚至可以借助某些计算机玩主扭曲的幽默感来产生变异和进化。计算机病毒确实可以在计算机控制的空间和计算机网络上生存下去。在物质世界之外它们不可能独立存在，但这不等于就能把它们划出生命物体的范畴。朗顿声称，如果生命真的只是组织的问题，那么，应该说，组织完善的实体就是活的，无论它是用什么做成的。

但不管计算机病毒是什么身份，朗顿都确信，“真正的”人工生命总有一天会诞生，而且很快就会诞生。它会诞生于生物化学领域、诞生于机器人和先进软件的发展中。而且，不管朗顿和他的同事们是否对它进行研究，它都会因商用的

和 / 或军用的需要而出现, 朗顿认为, 正因为如此, 人工生命研究才变得更为重要: 如果我们真的是在向人工生命的美妙的新世界推进的话, 那么, 至少我们也该是睁着双眼步入这个境界。

朗顿写道: “到这个世纪的中叶, 人类已经具有了毁灭地球上所有生命的能力。到了下个世纪中叶, 人类将具有创造生命的能力。”在这两种能力中, 很难说哪一种能力会带给我们更大的责任负重。这不仅是因为某种特定的生命物体将能够生存下去, 而且因为进化的进程本身也会越来越落到我们人类的控制之中。

这一展望使他觉得, 所有卷入人工生命研究的人都应该读一下《科学怪物》这本书: 这本书很清晰地说明, 制造了科学怪物的博士拒绝对他的造物承担任何责任。(尽管电影上并没有这样的镜头), 我们绝不能让这种情况发生。他指出, 我们现在所导致的变化后果是不可预测的, 即使只从原则上来说也无法预测。但我们必须对后果负责。这反过来又意味着, 必须公开辩论人工生命的意义, 必须有公众的介入。

而且, 假如你能够创造生命, 那么你就会突然卷入到比对计算机病毒是否是活的这种技术性定义问题要大得多的问题之中。很快, 你就会发现自己卷入了某种实证神学中。比如, 你创造了一个生命物体之后, 你是否有权力要求这个活物对你顶礼膜拜、奉献一切? 你是否有权在它面前扮演上帝的角色? 是否有权在它不听命于你的时候毁灭它?

朗顿说, 这些都是很尖锐的问题。“不管我们是否对这些问题已经有了正确的答案, 都必须坦诚地、公开地提出这些问题。人工生命不仅是对科学或技术的一个挑战, 也是对我们最根本的社会、道德、哲学和宗教信仰的挑战。就像哥白尼的太阳系理论一样, 它将迫使我们重新审视我们在宇宙中所处的地位和我们在大自然中扮演的角色。”

新的第二定律

如果说, 朗顿的言辞较之大多数科学性文章显得调门略高, 那这在罗沙拉莫斯他的圈子里也绝非罕见之事。法默就因高调先导艰深科学的概念而著称。这方面的一个最著名的例子, 就是法默和他的夫人, 环境律师艾莱塔·白林 1989

年共同执笔的一篇非科学性演说，题目是：“人工生命：即将来临的进化”。这是法默在加州大学庆贺马瑞·盖尔曼六十大寿的研讨会上做的演讲。“随着人工生命的出现，我们也许会成为第一个能够创造出我们自己的后代的生物……”他这样写道。“作为创造者，我们的失败会诞生冷漠无情、充满敌意的生物，而我们的成功则会创造风采夺人、智慧非凡的生物。这种生物的知识与智慧将远远超过我们。当未来具有意识的生命回顾这个时代时，我们最瞩目的成就很可能不在于我们本身，而在于我们所创造的生命。人工生命是我们人类潜在的最美好的创造。”

撇开华丽的词藻不谈，法默是当真把人工生命视为一门新兴科学（这篇“即将来临的进化”的演说的大部分，是对这门科学的未来做出并非夸大其词的评价）。很自然，他对朗顿的研究也给予了同样当真的支持。毕竟，是法默首先把朗顿带到罗萨拉莫斯来的。尽管他对朗顿延宕已久的博士论文深感焦虑，但却丝毫不后悔把朗顿带到这里来。他说：“克里斯（朗顿）无疑值得我这么做。这儿的人都喜欢他，他有一个真正的梦想，有人生的志向，像他这样的人太少。克里斯还没学会如何提高工作效率。但我认为他很有远见，一种真正的远见。我觉得他为实现自己的抱负而付出了非常出色的努力，他不畏惧对付繁琐而具体的问题。”

确实，虽然朗顿凑巧还年长他五岁，但法默却是全心全意支持朗顿的良师益友。1987年，当法默还只是少数几个被桑塔费研究所的内部圈子囊括其内的年轻科学家之一时，他就说服考温为朗顿的人工生命研讨会捐资五万美元。在法默的推荐下，朗顿被邀请到桑塔费研究所的研讨会上来做演讲。法默还倡议研究所的科学委员会为人工生命项目招收访问科学家，他还鼓励朗顿在罗萨拉莫斯，偶尔也在桑塔费研究所举办一系列的人工生命讨论会。也许最重要的是，1987年，当法默同意在罗萨拉莫斯的理论研究中心主持新的复杂系统小组时，他把人工生命、机器学习和动力系统理论列为这个小组的三大主要研究方向。

法默并非天生的行政型人物。他三十五岁，是个高高瘦瘦的新墨西哥人，还像个研究生似的留着马尾巴、着T恤衫、爱说“质疑权威！”这样的话。忙忙碌碌的行政工作对他来说不啻是一个痛苦，不得不撰写建议书，向“华盛顿的那些笨蛋”乞讨研究基金是他的另一大痛苦。但法默无论在获取研究基金上、还是在

激发知识热情上都天赋盖人。他最初在数学预测这个领域脱颖而出，现在仍然将大部分时间付诸于该领域的前沿性研究，致力于寻找预测随机而混乱的系统的未来行为的方法，包括对股市这种人们非常希望能够预测未来的系统做出预测。他把小组用于“一般性功能”的大部分研究经费都拨给了朗顿和人工生命研究小组的成员，而让他自己的非线性预测研究项目和其他研究项目自食其力。“预测研究能够带来实际的效益，我能够保证投资人在一年之内得到回报，而人工生命研究却要等很长时间才能产生结果。在目前的投资环境中，人工生命几乎无法得到研究资金。当一个资助我的预测研究的基金会打电话向我问及他们收到的一份人工生命研究的建议书时，我便对这种情况看得十分清楚了。从他们的态度来判断，他们把人工生命视为飞碟、或占星术之类的东西。他们看到我的名字出现在人工生命项目推荐人的名单上，深感不快。”

从长远来看，法默目前所处的情况不如他想象的理想。他确实非常热爱预测研究工作，但陷于预测研究和行政事务，他没有多少富裕时间来从事人工生命的研究。但人工生命比其他任何工作都打动他的心弦。他说，人工生命会令你深入到涌现和自组这些深层次的问题之中，而这些正是一直萦绕在他脑海里的课题。

法默说：“我上中学时就开始思考大自然中的自组织现象了。虽然起初的想法很模糊，是因为读了科学幻想小说。”他尤其记得艾萨克·阿斯莫夫(Isaac Asimov)写的那本《最后的问题》(The Final Question)。在那个故事中，未来的人类向宇宙超级计算机咨询如何废除热力学第二定律。即：随着原子的自我随机化，宇宙万物无情地趋于冷却、腐朽和消亡的倾向。他们问，怎样才能扭转不断增强的熵？(熵是物理学家对分子层无序现象的称谓。)后来，在人类消亡、星球冷却很久以后，宇宙超级计算机终于知道了如何完成这项伟绩。它宣告说：“让光芒照耀吧！”然后就诞生了一个崭新而低熵的宇宙。

法默读到阿斯莫夫这本书的时候只有十四岁，这个故事那时候就带给他这样一个问题：他问自己，如果熵一直在增强，如果原子层的随机化和无序现象是不可抗拒的，那为什么宇宙仍然能够形成星球、云彩和树木？为什么在一个很大的规模上，物质往往总是趋于越来越有组织，同时又在一个较小的规模上，越来越趋于解体？为什么那么很久了宇宙都没有解体成某种无形的潮气？法默说：“坦率地说，对这些问题的兴趣是驱使我成为一个物理学家的动力之一。比尔·伍特

斯(Bill Wootters)即物理学家威廉姆·伍特斯,现在麻省威廉姆斯学院)和我在斯坦福大学时,经常在物理课后坐在草地上长时间地谈论这些问题,当时我们的脑海里不断跃出各种思想。好多年以后我才发现,还有其他人也一直在思考这些问题,在这方面已有资料和文献的记载了——从事控制论研究的诺伯特·维纳(Norbert Wiener)、从事自组织研究的伊利亚·普利戈金、从事合作反射研究的荷曼·海哈肯(Hermann Haken)。”他说,事实上,在赫伯特·斯宾塞(Herbert Spencer)的著作中也潜在着同样的问题。十九世纪六十年代,英国哲学家斯宾塞提出“适者生存”这句话,推动了达尔文理论的普及。其实斯宾莎只是把达尔文的进化论看作推动宇宙结构自发起源的宏大力量的一个特例。

法默说,当时很多人都在独自思索这些问题。但当时他感到非常困惑。“我没见到有推动这些思考的专门学问。生物学家并不是在研究这些问题,他们在忙着弄清楚哪个蛋白和哪个蛋白发生作用,而忽略了一般性法则。在我看来,物理学家似乎也不是在从事这方面的研究。这就是为什么我转向混沌理论的原因之一。”

关于法默他们转向混沌理论,詹姆士·格莱克在他的畅销书《混沌》中有整章的介绍:法默和他终生好友诺曼·派卡德七十年代末还是加州大学桑塔克鲁兹分校物理学研究生的时候,是如何开始着迷于轮盘赌现象的;计算在轮盘旋转中的滚球轨线是如何让他们敏锐地感觉到,在一个物理系统中,最初情况下的细微变动能导致最终结果的巨大改观;他们和另外两个研究生,罗伯特·肖(Robert Shaw)、詹姆士·克鲁奇费尔德(James Crutchfield)是如何开始认识到,新兴的“混沌”理论,即,更广泛地被称为“动力系统理论”,所描述的正是这种初始条件中敏感依赖性;他们四个人是如何立志从事这个领域的研究,并从此以“动力系统小组”而著称。

“但不久我就对混沌理论感到很厌倦了。”法默说。“我觉得,‘那又能怎么样呢?’混沌学最基本的理论已经探索尽了,这个学科的理论已经很明朗了,在其研究前沿已经没有什么可以令人激动的新发现了。”另外,混沌理论本身也并不十分深刻。他向你解释了许多关于某种简单的行为规则如何产生令人吃惊的复杂动力现象。但除了所有这些美丽的分形图景之外,混沌理论其实很难解释生命的系统,或进化的根本性法则。它无法解释这些系统如何从随机无物开始,自组

发展成复杂的整体。最重要的是，它不能回答法默的老问题，即，宇宙在永不停息地形成秩序和结构。

不知为什么，法默认定，对此还有全新的认识尚未穷尽。这就是为什么他和考夫曼、派卡德合作研究自动催化组和生命的起源，并全力支持朗顿的人工生命研究的原因。就像罗沙拉莫斯和桑塔费的许多人一样，法默也感到，某种理解。答案旋律、法则正徘徊于门外。

“我所属的思想流派认为，生命和组织就像熵的增强一样，是永不停息的。只不过生命和组织的形成没有什么规则，是由自我累积而成的，所以更要凭运气罢了。生命是一种更为广泛的现象的反映。我相信，这种更为广泛的现象正好与热力学第二定律背道而驰，它是某种能够描述物质的自组倾向、能够预测宇宙中组织的一般性特点的法则。”

法默不清楚这一新的第二法则将会是什么样子的。“如果我们清楚的话，我们就能知道如何发现这条法则。目前对此只是推测，也就是当你退后一步，拍着脑袋陷入沉思时所获得的某种直觉。”事实上，他并不知道这会是一条法则、还是几条法则。但他明白无疑的是，最近人们已经在这个方面发现了许多蛛丝马迹，诸如涌现、适应性和混沌的边缘，这些发现起码可以为这个假设的新的第二定律勾勒出一个大概的轮廓。

涌现

法默说，第一，这个想象中的法则将能够对涌现做出严谨的解释：当我们说整体大于部分的总和的时候，我们指的是什么？“这不是魔术，但当用我们人类粗陋狭小的大脑来感觉时，这就像是魔术。”飞翔的“柏德”（和实际生活中的鸟类）顺应着邻居的行为而聚集成群；生物体在共同进化之舞中既合作又竞争，从而形成了协调精密的生态系统；原子通过形成相互间的化学键而寻找最小的能量形式，从而形成分子这个众所周知的涌现结构；人类通过相互间的买卖和贸易来满足自己的物质需要，从而创建了市场这个众所周知的涌现结构；人类还通过互动关系来满足难以限定的欲望，从而形成家庭、宗教和文化。一群群的作用者通过不断寻求相互适应和自我完善而超越了自我，形成了更为宏大的东西。关键在

于要弄清楚这一切的来龙去脉，而又不落入枯燥无味的哲学思辨、或新时代的妄想泥潭。

法默说，这正是广义的计算机模拟和狭义的人工生命的美妙之处：在台式计算机上，用一个简单的计算机模型，就能拿你的思想做实验，看看它们的实际效果如何。你可以通过计算机实验对一些模糊的思想做出越来越准确的定位，可以试着提炼出突发在大自然中实际运作的本质。而且，那段时间已有了许多可供选择的计算机模型，其中引起法默特殊兴趣的是关联主义(Connectionism)：这个概念的意思是一个由“连接物”相连的“节点”网络所代表的互动作用者群。在这一点上，他和许多人都有共识。在这十多年间，关联论模型突然遍布各处。首要的范例就是神经网络运动。在神经网络运动中，研究人员利用人工神经元网络来模拟诸如知觉和记忆恢复这类的事情，并自然地対人工智能主流研究的符号处理方法发起了猛烈的攻势。但紧追其后的就是桑塔费研究所建立的基地，包括荷兰德的分类型系统、考夫曼的基因网络、还有他和派卡德以及罗萨拉莫斯的爱伦·泊雷尔森于八十年代中期为研究生命起源而建立的免疫系统模型。法默承认，这些模型中的有一些看上去并不很符合关联论，很多人在初次听到他们这样描述事物时都感到非常惊讶。但这只是因为这些模型是在不同的时间、被不同的人建立起来解决不同问题的，所以它们用以描述的语言也会不同。他说：“当你还原一切时，所有事物看上去都是一样的。你其实可以只建立一个模型，然后移于另一方面的模拟。”

当然，在神经网络中，节点一关联物结构是非常明显的。节点就相当于神经元，而关联物就相当于连接神经元的突触。比如说，一个程序员有一个神经网络模型的想象，他或她能够用激活一定的输入节点，然后让这一激活作用传遍这个网络的其余关联物的方法来模拟落在视网膜上的光线明灭。这个模拟效果有点类似于将货物船运到少数几个沿海城市的港口，然后让无数辆运输车通过高速公路将这些货物运往内陆城市。但如果这些关联物的布局不尽合理，那么这个网络在被激活后很快就会落入一个自我统一的型态，就相当于识别这样一幕：“这是一只猫！”而且，即使输入数据非常嘈杂、非常支离破碎，或就此而言，即使有些节点已经烧焦了，这个网络也同样会采取行动。

法默说，在分类型系统中，节点一关联物结构相当含糊不清，然而这一结构

确实存在。一组节点就是这组可能的内部布告，比如像 001001110111110，而关联物正是分类者规则。每一条规则都在系统的内部布告栏上寻找某条布告，然后通过张贴另一条布告来与寻找到的布告相呼应。通过激活某些输入节点，也就是，通过在布告栏上张贴相关的布告，程序员就能让分类者激活更多的布告，然后再激活更多布告。其结果就是布告如瀑布般飞溅，类似于将激活作用传遍整个神经网络。而且，就像神经网络最终会安顿在一种自我完善的状态中一样，分类者系统最终也会形成一种稳定的状态，组成这个状态的活性布告和分类者能够解决当前的问题。或者，用荷兰德的话来表述，这代表了一种涌现的心智模型。

这种网络结构也存在于他和考夫曼、派卡德建立的自动催化和生命起源的模型之中。在他们的模型中，这组节点就是所有可能的聚合物物种群，比如像 abbcaad，而关联物就是模拟的聚合物群中的化学反应：聚合物 A 催化了聚合物 B，并依此类推。通过激活特定的输入节点，即通过在这个模拟的环境中向这个系统稳定地输送微小的“食物”聚合物，就能引发瀑布般的反应。而这些反应最终会安顿下来，形成一种能够自我维生的活性聚合物和催化反应的型态：即，他们假设的从初始原汤中涌现出来的某种原始有机体的“自动催化组”。

法默说，这对老夫曼的基因网络模型和其它许多模型都同样适用。这些模型都潜在着同样的节点—关联物的构架。确实，几年前，当他刚刚认识到这一共同点时，他高兴得把这一切写成一篇题目为《关联主义的罗塞达碑》的论文，并发表了出来。法默在这篇论文中说，一个共同构架的存在消除了我们的一切疑虑，因为摸象的瞎子们至少已经把手摸在了同一头大象身上。而且还不止这些，对致力于研究这些计算机模型的人们来说，这个通用的构架排除了不同术语的障碍，使相互之间的沟通变得比以往容易得多了。“在这篇论文中，我认为重要的是，我设计出了一个模型之间的实际翻译机制。我可以把免疫系统的模型拿过来说：‘如果这是个神经网络，那就可以如此这般地来看这个模型。’”

法默说，但也许，拥有一个通用构架的最重要的理由是，它能够助使你提炼出各种模型的本质，使你把注意力转向研究涌现在这些模型中的实际情形。在这种情况下，很显然，力量确实存在于关联之中，这便是这么多人为关联论而兴奋激动之处。你可以从非常非常简单的节点，线性“聚合物”开始，“布告”只不过是二进制数学，“神经元”基本上也只是开开闭闭的开关。然而它们却能仅仅

通过相互作用就产生令人吃惊的复杂结果。

以学习和进化为例。既然节点非常简单，那么网络的整体行为几乎完全就是由节点之间的相互关联来决定的。或用朗顿的话来说，相互关联中编入了网络的泛基因型密码。所以，如果要改善这个系统的泛表现型，只消改变这些节点之间的相互关联就行了。法默说，事实上，你可以通过两种方法来改变这种相互关联。第一种方法是让这些关联还呆在原地，但改善它们的“力度”，这相当于荷兰德说的采掘式学习：改善你所原有的。在荷兰德的分类者系统中，这种改变是通过水桶大队算法来实现的。这个算法对导致了良性结果的分类者规则实行奖赏。在神经网络中，这是通过各种学习算法来实现的。对算法的学习带给网络一系列的已知输入，然后加强或减弱关联的力度，直到这一关联能做出恰当的反应。

第二种更彻底地调整关联的方法是改变网络的整个线路布局，摘除一些老的关联点，置入新的关联点。这相当于荷兰德说的探索性学习：为获得大成功而做大冒险。比如，在荷兰德的分类者系统中，通过两性交配，产生不可模拟的新版本，从而达到基因算法的相互混合，正是这种情形。由此产生的新规则常常带入以往从未有过的新信息。这样的情形同样也出现在自动催化组模型中，出现在当偶尔有新的聚合物自动形成的时候，其情景就好像在现实世界发生的那样。由此产生的化学关联点能够给自动催化组打开在聚合物空间探索全新世界的大门。但在神经网络中这却不是常情，因为神经网络的关联原本是不能移动的突触的模拟。但最近在不少神经网络迷做的实验中，神经网络确实能够通过学习而重新布线。他们的理由是，任何固定的线路布局都是任意的，应该允许发生改变。

法默说，简而言之，关联论的概念说明，即使节点和单个作用者是毫无头脑的死物，学习和进化的功能也能涌现出来。更广义地说，这个概念非常精确地为一种理论指明了方向：即，重要的是加强关联点的力度，而不在于加强节点的力度，这便是朗顿和人工生命科学家所谓的生命的本质在于组织，而不在于分子。这一概念同时也使我们对宇宙中生命和心智从无到有的形成和发展，有了更深刻的了解。

混沌的边缘

法默说，尽管关联论模型的前景看好，但这些模型却远不能揭示新的第二定律的全部奥秘。首先，它们无法描述在“节点”既聪明、又能够相互适应的经济、社会领域或生态系统中，涌现现象是怎样产生的。要了解这样的系统，就必须了解共同进化之舞中的合作与竞争。这就意味着，要用共同进化的模型来做研究，比如用近些年来变得越来越流行的荷兰德的生态系统模型来做研究。

更重要的是，关联论模型和共同进化模型都没有揭示为什么会出现生命和心智这个根本的问题。能够产生生命和心智的宇宙是怎么回事？只是谈论“涌现”还远远不够。整个宇宙充满了涌现的结构，比如银河、云彩和雪花这类仅仅是物理的、没有任何独立生命可言的物体。这其中一定还另有道理。而这个假设的第二定律将告诉我们这道理何在。

显然，这项工作有赖于那些力图了解基本物理和化学世界的计算机模型，比如朗顿热衷的分子自动机模型。法默说，朗顿在分子自动机中发现的混沌边缘的奇异相变，似乎提供了一大部分的答案。在人工生命研讨会上，朗顿由于尚未完成博士论文，所以对这个问题谨慎地三缄其口，但罗沙拉莫斯和桑塔费的许多人却从一开始就发现混沌的边缘这个概念非常引人入胜。朗顿基本上说的是，使生命和心智起源的这个神秘的“东西”，就是介于有序之力与无序之力之间的某种平衡。更准确地说，朗顿的意思是，你应该观察系统是如何运作的，而不是观察它是由什么组成的。他说，当你从这个角度观察系统时，就会发现存在秩序和混沌这两个极端点。这非常类似原子被锁定于一处的固体和原子相互随意翻滚的流体之间的差别。但在这两极的正中间，在某种被抽象地称为“混沌的边缘”的相变阶段，你会发现复杂现象：在这个层次的行为中，该系统的元素从未完全锁定在一处，但也从未解体到骚乱的地步。这样的系统既稳定到足以储存信息，又能快速传递信息。这样的系统是具有自发性和适应性的有生命的系统，它能够组织复杂的计算，从而对世界做出反应。

当然，严格地说，朗顿只是在分子自动机模型中演示了复杂与相变之间的关系。没人真正知道是否也能用这一点来解释其它计算机模型，或解释现实世界。但另一方面，种种迹象表明，朗顿的发现也许具有普遍性的意义。比如事后你会发现，这些年在关联论的模型中，有半数会出现类似相变的行为。早在六十年代，考夫曼在他的基因网络中最先发现的事情之一就是相变：如果关联点太稀疏了，

整个网络基本上就会处于冻结和静止状态；如果关联点太稠密了，整个网络就会剧烈翻搅，呈完全混乱状态。只有处于两者之间，当每个节点只有两条输入时，整个网络才能产生考夫曼想要的那种稳定的循环。

法默说，到了八十年代中期，自动催化组模型也出现了同样的情况。这个模型有许多参数，比如像各种反应的催化强度和“食物”分子的供给速率。法默、派卡德和考夫曼必须通过不断尝试和不断犯错误的方法，用人工来调校这些参数。他们在自动催化组模型中最早发现的一种情况就是，直到这些参数进入了某个范畴，自动催化组才会启动，并迅速发展。法默说，这种行为是其他模型中相变的再现。“我们感到了其中的相似性，但却很难准确地定义这种相似性。这是一个需要有人做谨慎比较的领域，需要建立那篇罗塞达碑论文中所描述的某种通用构架。”

同时，对于这个混沌的边缘的概念是否也适用于共同进化系统，人们的认识更为模糊。法默说，在生态或经济系统中，我们对如何准确定义诸如秩序、混沌和复杂这些概念很不清楚，就更别提要定义它们之间的相变了。但尽管如此，混沌的边缘这个法则也总让人感到具有某种真意。举前苏联为例，法默说：“现在事情已经很明显了，用中央集权的办法来控制社会不会有好效果。”从长远来看，斯大林建立的社会体制过于僵硬呆滞、对社会的控制过于严密了，所以无法维持下去。或也可以举七十年代底特律的三大汽车公司为例，这几家汽车公司发展规模过大、过于刻板地锁定在某种特定的运行方式中了，所以很难认识到来自日本的挑战在不断增强，要对这一挑战做出回应就更是力不能胜了。

而另一方面，无政府主义也不是行之有效的社会机制。前苏联的某些地区在苏联瓦解之后似乎已经证明了这一点。放任自流的社会体制是行不通的。狄更斯恐怖小说中英国的工业革命，或更现代的美国储贷的崩溃，都说明了这一点。这是常识，更不用说还有最近的政治经验所提供的启示：一切健康的经济和健康的社会都必须保持秩序与混乱之间的平衡，而不是保持某种软弱无力的、平庸的、中间道路似的平衡。这就像活细胞一样，它们必须在反馈与控制之网中调整自己，但同时又为创造、变化和对新情况的反馈留有充分的余地。法默说：“在自下而上组织而成的、具有灵活弹性的系统中，进化勃然而兴。但同时，在该系统中，自下而上的活动必须导入正轨，使其无法摧毁组织结构，进化才有可能。”混沌

边缘上的复杂动力，似乎是这种进化行为的理想解释。

复杂的增强

法默说：“不管怎样，这一含糊的启示使我们以为自己已对这个有趣的组织性现象发生的领域有所把握了。”但这也绝非故事的全部。为了易于辩说，可以先假设这个特殊的混沌的边缘领域确实存在，但即使如此，假设的新的第二定律也必须解释，这些系统是如何到达这个领域、存在于这个领域的，同时在这个领域都干了些什么。

这个含糊的启示很容易使我们自己相信，达尔文已经对前两个问题做出了回答（正如荷兰德所概括的那样）。这个观点认为，既然这种能够做出最复杂、最完善反馈的系统总是能够对这个充满竞争的世界保持其敏锐性，那么，僵化的系统就总是能够通过略做放松就能表现更好，而混乱的社会就总是能够通过稍做控制就达到更佳的效果。所以，如果一个系统尚未达到混沌的边缘，那么你就会期望学习和进化功能能够推动它朝这个方向发展，而如果这个系统正好在混沌的边缘，那么你就希望学习和进化功能能够在该系统趋于脱轨时将其拉回原地。换句话说，你希望学习和进化功能能够使混沌的边缘变成复杂的适应性系统的稳固家园。

第三个问题，这类系统达到混沌的边缘时都干些什么。这是一个较为微妙的问题。在所有可能的动力行为空间，混沌的边缘就像是一片无穷薄的膜片，这是一个产生从混乱中分离出秩序的复杂行为的特殊领域。就像海水的表面只不过是作为一个水分子的厚度来分隔水与空气那样，混沌的边缘地区也有如海洋的表面，浩淼得无边无际，作用者可以在这之中以无穷无尽的方式来尽显其复杂性与适应性。确实，当荷兰德提及“永恒的新奇性”、提及适应性作用者探索可能性的无限空间时，他也许没有使用上述的比喻，但他所谈的含意，正是指适应性作用者徜徉于浩淼无际的混沌边缘的薄膜片之上。

因此，新的第二定律对此会有何解释呢？当然，它会涉及建设砖块、内在模型、共同进化、以及所有荷兰德和其他人所研究的任何适应性机制。但法默却怀疑，其核心将更多地在于指明方向，而不在于描述机制：进化常常导致事物越变

越复杂、越变越精巧、越变越具有结构这个貌似简单的事实。法默说：“云彩比大爆炸后最初的瘴气更具有结构，初始原汤比云彩更具有结构。”而我们人类则比原始初汤更具有结构。从这个事实推论，现代经济比美索不达米亚城邦要更具有结构，就像现代技术比罗马时代的技术要先进发达得多一样。学习和进化功能似乎不仅仅只是把经济作用者缓慢地、时续时断地、然而却不可阻挡地拉向混沌的边缘，而且使作用者沿着混沌的边缘往越来越复杂的方向发展。这是为什么呢？

法默说：“这是个棘手的问题。我们很难阐述清楚生物学中‘进步’的概念。”当我们说一种生物比另一种生物更高级时是什么意思？就拿蟑螂来说，它存在的时间较之人类要长几百万年，作为蟑螂，它们已经进化得非常高级了。我们人类是比它们更高级呢，还只不过是与它们不同罢了？六千五百万年前，我们的哺乳类祖先真是比凶残的霸王龙高级呢？还只不过是因为幸运地躲过了彗星陨落的劫难？法默说，缺少对“最适”这个概念的客观定义，“适者生存”就变成了“生存者生存”的赘述。

“但我也并不相信虚无主义，不相信任何事物都不比其它事物强这个概念。并不是进化造就了我们，这个念头很愚蠢，但如果退后一步，用更加宽广的眼光来看待进化的完整过程，你就会看到不断精巧化、复杂化和功能强化的总趋向。较之最早期的生物体和最近期的生物体之间的差别而言，T型车和法拉利车之间的差别简直不值一提。尽管这令人费解，但进化的设计从总体上来说确实趋于‘质’的不断提高。这正是最令人入迷、也是最深奥的全面解释生命现象的线索。”

他最喜欢举的一个例子就是他和派卡德、考夫曼创立的自动催化组模型中的进化现象。关于自动催化，最美妙之处就是你可以从头开始跟踪涌现的过程。少数化学物的浓度自发地、大幅度地超越其平均浓度，因为它们采取了相互催化成形的集体行动。这意味着，这个自动催化组作为一个整体已经转变为一个新的、涌现的个性，从其均衡的背景中脱颖而出，而这正解释了生命的起源。“如果我们知道怎样在现实的化学实验中实现这个过程，我们就能获得某种平衡于活物和非活物之间的东西了。这些自动催化个体并不具有基因密码。但却能以其原始型态做到自我维生、自我扩张，尽管做得不如种子那么完善，但比一堆乱石却要

强过百倍。”

当然，在最初的计算机模型中，并不存在这类自动催化组的进化，因为在最初的模型中不存在任何与外界环境之间的相互作用。这个模型假设，一切都发生在搅拌均匀的化学溶剂中，所以自动催化组一涌现出来就是稳定的。但在四十亿万年前的真实情况下，这些定义含糊的自动催化单体是处在各种颠簸起伏的环境之中的。这种情况下会发生什么呢？法默和研究生里克·巴格雷为了解这个，将模型置于不稳定的“食物”供给之下。所谓“食物”，就是一串串当作原料提供给自动催化组的微小分子。“最为奇妙的就是有些自动催化组就像熊猫一样只吃竹子，改变了食物供应它们就无法存活了。而另外一些却像是杂食动物，它们有许多不同的新陈代谢的方法，这使它们能够适应食物的变化。所以，你改变食物供应后它们基本上没有受到什么影响。”这类强健的催化组也许就是存活在地球上的物种。

法默说，最近，他和巴格雷、以及罗萨拉莫斯的博士后沃尔特·方塔纳(Walter Fontana)对自动催化模型又做了改进，使它能够产生偶尔的自发反应，这种现象确实存在于真实的化学系统中。这种自发的反应导致许多自动催化组的分裂。但分裂的自动催化组为进化的飞跃铺平了道路。“分裂引发了各种新鲜事物纷至沓来。某种变异会被扩大，然后再次进入稳定状态，直到下一次大崩散的到来。我们观察到了一系列自动催化组的新陈代谢、相互取代现象。”

也许这就是一个线索。“如果我们在阐释‘进步’概念时能够包括涌现结构中的某种以前从未有过的反馈环（为求稳定而有的反馈环），那一定会很有意思。关键在于，是一系列进化事件构架了斯宾塞观念中宇宙的物质，在这之中，每一次涌现都为下一次涌现铺平了道路。”

法默说：“其实我在谈论所有这一切时很感困扰。这里真的存在语言上的障碍。大家都忙着试图给‘复杂’和‘涌现计算倾向’这类的概念下定义，而我却只能用尚未用数学术语明确定义的语言来向你提供含糊的意象，现在就好像是处于热力学出现之前的阶段，目前我们处于上个世纪二十年代，那时人们知道有某种叫作‘热’的东西，但那时人们只会用后来听上去非常荒唐的语言来称谓它。”事实上，那时人们甚至不能确定热究竟是什么，更不了解热运动的机制。那时，最有声誉的科学家确信，一根烫得发红的拨火棍上密布了无重量、无形状的被称

为“卡路里”的流体，这种流体不可阻止地从拨火棍流向较冷、卡路里含量较低的东西。只有少数人认为热代表了拨火棍原子的某种微观运动。（这少数人的观点是对的。）那时似乎没有人能够想象到，像蒸汽机、化学反应和电池这些复杂而无序的事物竟全都是被简单的、一般性法则所控制的。直到1824年，一位名叫赛地·卡诺（Sadi Carnot）的年轻的法国工程师发表了他的第一篇论文，这篇文章陈述的就是后来众所周知的热力学第二定律：即，热不会自动从冷物流向热物。（卡诺在为他的同事写一本畅销书时，十分正确地指出，这个简单而寻常的事实对蒸汽机的效率设定了许多限制，就更别提对内燃机、电厂的涡轮机、或任何靠热力运转的机器的限制了。对这个第二定律的统计性解释，即，原子不断力图使自己随机比，直到七十年以后才出现。）

同样，直到上个世纪四十年代，英国的酿酒商和业余科学家詹姆士·焦耳（James Joule）才为热力学的第一定律奠定了实验基础。这个热力学的第一定律就是众所周知的能量不灭定律：即能量能够从一种形式转换为另一种形式，包括转换为热能的、机械的、化学的、电能的形式，但能量却永远不可能被创造出来或被毁灭。一直到上个世纪五十年代，科学家们才用准确的数学形式对这两条定律作出说明。

法默说：“我们正悄悄地朝自组现象的解密挺进。但了解组织远比了解混乱更难得多。我们仍未发现关键的概念，起码还不能以清晰的、定量性分析的形式阐述自组织的概念。我们需要像阐述氢原子那样清晰地阐述这个概念，能够把它拆解开来，对其机制做出完美而清晰的描述。但我们现在还做不到这一点。我们对这个谜只有支离破碎的了解，对其每一部分的了解都是孤立的。比如，我们现在对混沌和分形有了很多了解，混沌理论告诉我们，由简单的零部件组成的简单的系统是如何产生极其复杂的行为的。我们对果蝇的基因调节也已知之甚多。对在少数特定情况下大脑中的自组是如何发生的，我们也略有所知。在人工生命领域，我们创造了‘玩具宇宙’的全景。这些模型的行为略微反应了自然系统中的真实情形。但我们能够完全对它们进行模拟，任意对它们做出改变，完全知道是什么导致它们现在的行为。我们希望我们最终能够退后一步，将所有这些集成为一个完整的进化与自组的理论。”

法默说：“这个领域不适于那些喜欢对付定义明确的问题的人。但让人激动

的，正是这个领域尚未形成僵化的定见。事情还在发展，我尚未发现有谁找到了明确的解题途径。但我们已经发现了许多初见端倪的线索，有了许多小巧的玩具系统和含糊的概念。所以我预测，在今后的二三十年内，我们将会形成一个真正的理论。”

榴弹炮弹的轨迹

考夫曼真诚地希望新理论的诞生不需要耗费那么长时间。

“我听到法默说，现在有点像卡诺特出现之前的热力学阶段，我想他的话没错。我们真正期盼复杂性科学结出的正果，是宇宙间非均衡系统中型态形成的一般性法则。我们需要有合适的概念来促使这个通则的诞生。尽管我们现在已经掌握了所有这些线索，比如像混沌的边缘这个线索，但我仍然觉得我们还是处于突破的边缘，我们好像正处于卡诺出现的前几年。”

确实，考夫曼显然希望新的卡诺会变成考夫曼的名字。就像法默一样，考夫曼想象的新的第二定律应该能够解释涌现的实体在混沌的边缘是如何产生最有趣的行为，适应性如何无穷无尽地将这些实体越变越复杂。但考夫曼不像法默那样因主持一个研究小组而被诸多行政事务所烦扰。他在到达桑塔费研究所的当天就全身心地投入到对问题的研究中去了。他谈起话来就像一个急需找到答案的人，仿佛为了解开秩序和自组现象之谜所耗费的三十年的努力，已经使问题的答案变成了近在眼前却不得而获的肉体痛感。

考夫曼说：“对我来说，混沌边缘的进化这个概念，只差一步就会转为一种为了解自组和自然选择之混合而进行的艰苦努力。我感到很恼火，因为我几乎已经可以感觉到它、看到它了。我不是一个非常小心谨慎的科学家。一切都还没有结束，对许多事情我只看到了一点苗头、我觉得自己更像是一个榴弹炮弹，射穿了一堵又一堵墙，留下一片狼藉。我觉得我是在突破一个又一个的难题，力图看见榴弹炮弹轨迹的终点。”

考夫曼说，这个榴弹炮弹的轨迹始于六十年代，从他进行自动催化组和基因网络模型的研究时开始。那时他真的希望自己能够相信生命完全是通过自组而形成的，自然选择法不过是枝节因素。胚胎发育就是最好的证明。在胚胎发育的过

程中，相互作用的基因将自己组织成不同的形状，相应于不同的细胞类型，相互作用的细胞又把自己组织成各种肌理和结构。“我从来都不怀疑自然选择的作用。只是对我来说，最深奥的道理一定与自组织有关。”

“但在八十年代的某一天，我造访了约翰·梅纳德·史密斯。”英国萨塞克斯大学的史密斯是他的老朋友，也是一位著名的生物学家。当时考夫曼因研究果蝇的胚胎发育问题而停顿十年后又开始认真思考自组的问题。“当约翰、他的妻子希拉和我一起出门到草地上散步时，约翰说，我们离达尔文故居不远。然后他又宏论滔滔地说，那些认真相信自然选择的人差不多都是英国乡村绅士，比如像达尔文。然后他看着我微笑着说：‘那些认为自然选择与生物进化没有太大关系的人差不多都是城市犹太人！’这话使我忍俊不禁。我坐在灌木丛中大笑了起来。但他却说：‘斯图尔特，你真得好好想想自然选择的问题了。’但我却很不情愿，我希望这一切都是自发产生的。”

然而考夫曼不得不承认，梅纳德·史密斯是对的。仅仅是自组本身不能完成这一切。毕竟，突变的基因就像正常的基因一样能够轻易的自组。结果，当自组产生的是畸形果蝇，其腿长到该长胡须的地方时，就仍然需要自然选择法来完成优胜劣汰的任务。

“所以，1982年我坐下来为我的书起草大纲，”（书名为《秩序之起源》，这是考夫曼对自己三十年思考的总结，经过再三修改后最终于1992年出版。）“这本书是探讨自组和自然选择法的：你怎样将两者并容？起初我认为这两者之间必有竞争。自然选择也许想这么做，但系统的自组行为却由于局限而无法实现自然选择的这一目标。所以它们之间会相互争执不下，直到达到自然选择能够推动事物发展的某种均衡点才算完事。我的这一想象贯穿于全书前三分之二的篇幅。”更准确地说，考夫曼的这一想象或许在他的思想上占有更大的分量。直到八十年代中期，在他来到桑塔费研究所之后，开始听到混沌的边缘这个概念，他的这个观点才有了改变。

考夫曼说，混沌的边缘这个概念最终改变了自组与自然选择法问题在他头脑中的地位。但同时，他对这一改变又百感交集。因为他从六十年代开始研究基因网络，已经在基因网络里观察到了类似相变的行为，到了1985年，他自己差不多也快要从中得出混沌的边缘这个概念了。

“很多该写的论文我都没有写出来，这就是其中的一篇。对此我一直很后悔。”考夫曼说，口气中仍带着自责。1985年夏天，当他借年假之机到巴黎做研究时，混沌的边缘这个想法就已经在他头脑中冒芽了。当时他和盖拉德·威斯波克（Gerard Weisbuch）和弗朗西斯·福戈尔曼-苏尔（Francise Fogelman-Soule）一起到耶路撒冷的海达萨医院呆了几个月。弗朗西斯是一名研究生，正在撰写关于考夫曼的基因算法的博士论文。有一天早上，考夫曼开始考虑基因网络中他称之为“冻结成分”的问题。早在1971年他就注意到了这个问题。在他的电灯泡比拟中，散布在网络各处相互关联的节点群似乎会呈现既非全部开亮、也非全部熄灭的状态，而且会一直处于这种状态，而网络其他地方的“电灯泡”会继续不停地点亮、熄灭。在连接稠密的网络中，灯光闪烁不停，完全是一片混乱不堪，决不会出现冻结成分。但在连接稀疏的网络中，冻结的成分就占了主导地位，这就是为什么这些系统很容易整个冻结的原因。但他想知道，处于中间状态时会出现什么情形呢？这类多多少少能够相互连接的网络似乎最接近真正的基因系统。它们处于既非完全冻结、又非完全混乱的状态……

“我记得那天早上我冲着弗朗西斯和盖拉德大叫：‘伙计们，你们看，当冻结成分冰雪消融、开始小心翼翼地相互连接，而未冻结的孤岛也跃跃欲试地向外伸延时，我们就能获得最复杂的计算！’那天上午我们对此议论甚多，大家都觉得这是一个非常有意思的现象。我做了记录，把它排为可做进一步研究的问题。但后来我们又忙于别的事情去了。另外，那时我仍然觉得‘没人会关心这类事情’，所以再没对此投入过全副精力。”

结果考夫曼在听到所有关于混沌边缘的谈论时，产生了一种记忆错觉。他感到既后悔不迭又激动不已。他没办法不把这个概念看作己出，但同时又不得不承认，朗顿在对相变、计算机算法和生命之间的关联的认识上，比他那天早上一闪而过的幻想要深刻得多。朗顿的艰苦努力已经使这个概念趋于严谨和精确。而且，朗顿已经认识到，考夫曼尚未达到这一步。混沌的边缘远远不止是简单的介于完全有秩序的系统与完全无序的系统之间的区界。确实是朗顿与考夫曼做了几次长谈后，考夫曼最终才认识到了这一点。混沌的边缘是自我发展进入的特殊区界，在这个区界中，系统会产生出类似生命的现象和复杂的行为表现。

考夫曼说，朗顿无疑做出了第一流的重要研究。但尽管朗顿的研究已经达到

了这一步，尽管他在经济学、自动催化方面的研究都有重大进展，尽管桑塔费也从事了其它的研究课题，尽管他在为撰写自组与自然选择之间紧张关系上耗费了许多时间和精力，但我们离揭示混沌的边缘的全部含义却仍然相距几年的时间。事实上，直到1988年夏天，混沌的边缘的全部含义才真正得以揭示。当时诺曼·派卡德从伊利诺斯路经桑塔费研究所，逗留期间召开了一个学术讨论会，在会上就自己关于混沌边缘的研究做了一个报告。

派卡德独自形成了相变的概念，在时间上与朗顿同步，而且也深入思考了适应性的问题。所以他禁不住要问：那些最能调整自己的系统是否也是计算最好的系统，即，处于有序与无序之间的系统呢？这是一个扣人心弦的思想，派卡德为此做了一个模拟。他从用许多细胞自动机规则开始，要求它们都要单独做某种计算。然后他用荷兰德式的基因算法，根据细胞自动机规则计算的好坏再派生规则。他发现，最终的规则，也就是那些能够很有效地进行计算的规则，最后确实聚集在有序与无序之间的地带。1988年，派卡德将这一观察发现包括到在他的“混沌边缘的适应性”的论文中了，这是第一次有人在正式发表的论文中引用“混沌的边缘”这个词。（那时朗顿仍然非正式地称其为“混沌的开始”：onset of Chaos.）

当考夫曼听到这些时简直是目瞪口呆。“当时我恍然大悟，不由脱口而出：‘对呀！’在相变阶段会产生复杂的计算这个想法曾从我脑际闪过，但我没想到，自然选择就可以导致这个结果，真是愚蠢。当时我就是没想到这一点。”

但现在他想到了这一点，他的自组与自然选择相互对立的老问题就变得澄澈清晰：有生命的系统不会牢固地盘踞于有序的王国内。但这二十五年来，他在宣称自组是生物学最强大的力量时，却一直在强调秩序这一点。有生命的系统其实非常接近混沌边缘的相变，在这个相变阶段，事情显得更为松散、更呈流体状。而自然选择也并非自组的敌人，自然选择更像是一种运动法则，一种不断推动具有涌现和自组特征的系统趋于混沌的边缘的力量。

“让我们把基因网络当做基因调节系统来讨论，”考夫曼说，语气中带着转变后的热情。“我说的是有序王国中稀疏相连、但离边缘又不过于遥远的网络。这种网络能够产生许多与胚胎发育、细胞类型和细胞分化的真实状况相一致的特点。如果事情确实如此的话，那我们就有理由猜测，十亿年的进化实际上就是把

细胞类型调整到接近混沌的边缘。”

“因此我们可以说，相变是进行复杂计算的地方。第二个断言有点类似‘变迁与自然选择会带你达到混沌的边缘’。”当然，派卡德早就用简单的分子自动机模型展示了这个断言。但这只是一个模型。考夫曼希望在他的基因网络中看到这种情形的发生。所以他听到派卡德的报告不久就与一个刚毕业于宾州大学，名叫桑克·约翰森（Sonke Johnsen）的年轻程序员合作开发了一个计算机模拟。考夫曼和约翰森根据派卡德的基本原理，模拟了一对对网络：富于挑战性的“错误搭配”游戏。即：连接每一个网络，使六个模拟电灯泡相互闪烁，形成各种光图，“适应性最强”的网络就是那些能够闪烁一系列与对方光图全然不同的光图的网络。考夫曼说，“搭配错误”游戏能够把网络调校得更加复杂或更加简化。问题是，自然选择的压力和基因算法加起来是否有足够的力量将网络导向相变地带，即，走向混沌的边缘。而答案是，在所有的情况下都确实如此。事实上，不管他和约翰森是从有序王国开始启动网络，还是从无序王国开始启动网络，答案都是一样的。进化似乎永远都导向混沌的边缘。

因此这就证实了考夫曼的猜想了吗？并没有。考夫曼说。少数的模拟不能证明任何东西。“如果各种复杂的游戏最终都能证明混沌的边缘对这些游戏而言都是最好的区域，证明是变迁和自然选择把你导向了混沌的边缘，那也许才能证实这个松散而臆断的猜想是正确的。”但考夫曼承认，这正是一堆他没时间清理的碎石中的一块。他感到有太多美妙的猜想正在向他招手。

丹麦出生的物理学家普·巴克（Per Bak）在混沌边缘的游戏中是一张不按牌理出的牌。他和他在长岛的布鲁克海文国家实验室的同事们于 1987 年首次发表了关于“自我组织之临界性”理论。自那以后，菲尔·安德森就一直醉心于这一思路。1988 年秋天，当巴克终于到罗萨拉莫斯和桑塔费来参加对此的讨论时，大家才发现这是一个长着一张圆圆的脸、胖敦敦的身材的三十几岁的年轻人，谈吐举止带着日尔曼民族的鲁莽和挑衅的意味。在一次讨论会上，当朗顿问他一个问题时，他回答说：“我知道我在说什么。你知道你自己在说什么吗？”但不能否认，他确实非常聪明。他的相变概念的公式起码和朗顿的一样简练、一样漂亮，然而两人的概念又全然不同，有时看上去甚至毫不相干。

巴克解释说，他和他的合作者唐超（Chao Tang 的译音）、科特·威森费尔

德 (Kurt Wiesenfeld) 1986 年在研究被所谓“电荷密度波”的深奥的凝聚态现象时发现了自我组织的临界性。他们很快就认识到其更加广泛和深远的意义。他说,为了做出最好、最生动的比喻,就让我们想象桌子上有一堆沙子,有涓涓细沙均匀地从上流泻而下。(顺便说一下,确实有人同时用计算机模拟和用真的沙子做过这个实验。)这堆沙子越积越高,直到不能再高了为止。随着新的沙子不断流泻下来,原有的沙子如瀑布般顺坡流泻,不断从桌边泻落到地上。反过来,你也可以从一大堆沙子开始,达到同样的状况:沙堆会坍落下来,直到所有多余的沙子都从沙堆上流泻下来。

无论用哪一种方法,由此而形成的沙堆都是自我组织的,也就是说,沙堆自己达到了一个稳定的状态,不需要任何人为的干预。沙堆处于一种临界的状态,即表面的沙粒只是刚好能呆住。其实,处于临界状态的沙堆非常近似处于临界状态的铀堆,处于临界状态的铀堆的连锁反应刚好处在趋于核爆炸、但还没有引起核爆炸的边缘。细微的表层和沙粒的棱角以各种能够想象得出来的方式锁定在一起,差一点儿就会溃散。所以只要有一粒沙滚落,都无法预料会出现什么样的结果,也许什么都不会发生,也许只有很少沙粒会滑落,或也许一个很小面积的沙粒滑落正好导致一场连锁反应。巴克说,事实上,所有这些情况都有可能发生。大面积的沙崩很鲜见,但小的沙崩却屡见不鲜。均匀流泻的细沙导致了大小不等的沙崩,这便是可以用数学公式来表示的沙崩“幂律”行为:一定规模的沙崩频率与其规模的某些幂次成反比。

巴克说,所有这些问题的关键在于,在大自然中幂律行为屡见不鲜。无论是从太阳的活动,从银河之光、还是从通过电阻的电流和河水的流动中,都能看到这种现象。巨大的冲动极为鲜见,小的冲动却随处可见。但所有规模的冲动频率都符合幂律。这种行为表现如此普遍,以致于对其普遍存在性的解释都变成了恼人的物理学谜团:为什么?

他说,沙堆的比喻泄漏了一个答案。就像均匀流泻的沙子能够使沙堆通过自组织达到临界的状态一样,均匀输入的能量、或流水、或电力,能够使自然界许许多多系统通过自组织达到同样的临界状态,使它们变成一群微妙地相互锁定的子系统,刚好能呆在临界的边缘——各种规模的崩落不断出现,事物重组的频率恰好能使它们平衡在临界的状态。

巴克说，一个重要的例子是地震的扩散。住在加州的人都知道，能够引起碗盆震颤的小地震远比能够导致头条国际要闻的大地震要频繁得多。1956 年，地质学家柏诺·古登堡（Beno Gutenberg）和查里斯·利奇特（Charles Richter）指出，这些震颤实际上有其幂律：在任何一个特定的地区，每年释放一定能量的地震的次数，与某种特定的能量幂次成反比。（根据实证，其幂次约为 3 比 2。）这在巴克听起来，像是自组织的临界性，所以他和唐超就做了断层地区的计算机模拟。比如在圣·安德列斯地区，断层的两侧被稳定而永不衰竭的地壳运动推向相反的方向。常规地震模型告诉我们，断层两侧的巨石都被巨大的压力和磨擦力所锁定，它们抵抗着地壳运动，一直到发生突然而至的毁灭性滑移。在巴克和唐超的模拟中，断层两侧的巨石会扭曲、变形，一直到相互脱离。在这个过程中，断层会发生大小不一的滑移，正好能够将其张力保持在临界点上。所以他们认为，地震的幂律正是我们所需要的，这正好证明了，长久以来，地球断层一直在扭曲与变形之中将自己推向自组织的临界状态。确实，巴克他们模拟的地震所遵循的幂律与古登堡和利奇特的发现非常类似。

这篇论文发表不久，人们就在各个领域发现了自组织临界性的证据。比如像股票价格的波动、或变幻莫测的城市交通状况等。（停止与通行的交通阻塞现象就相当于崩落的临界点。）巴克承认，还没有一个一般性理论能够具体指出哪些系统会趋于临界状态、哪些系统不会。但显然很多系统都会趋于临界状态。

他补充说，不幸的是，自组织的临界性只能告诉你崩落的整体统计，但却无法告诉你任何一个特定的崩落。这也说明，理解与预测不是一回事。试图对地震做出预测的科学家最终也许能够做出准确的预测，但却不是因为了解了自组织的临界性就能做出准确的预测。他们所处的情状，就好比一小群住在临界的沙堆上的科学家。这些微观的研究者当然可以对四周的沙粒进行详尽的度量，尽力对那些具体的沙粒何时会发生崩落做出预测。但掌握全球性的幂律丝毫无助于他们做这样的微观预测，因为全球性行为并不有赖于局部细节。事实上，如果沙堆科学家想竭力防止他们已经预测到的沙崩，那么即使他们了解全球性幂律也不可能力挽狂澜。他们当然能够用树起支架和支撑结构的办法来防止沙崩，但他们最终无非是把这里的沙崩转移到了别处。全球性的幂律仍然不会改变。

“这个概念简直太棒了，”考夫曼说。“巴克一来研究所，我就爱上了他的自

组织临界性的概念。”尽管巴克尖酸刻薄，但朗顿、法默和桑塔费所有成员对他的概念都抱有同样的好感。很显然，在解答混沌的边缘之谜中，他们又有了一个关键的解答线索。现在的问题是如何恰当地运用这个解题线索来寻找答案。

自组织的临界性显然是在某种东西的边缘。在很多方面，这个“某种东西”非常类似朗顿力图在他的博士论文中做出解释的相变。比如，在他认为对混沌的边缘而言十分重要的二级相变中，巴克的概念揭示了各种规模的微观密度波动的真正本质。事实上，恰好发生在转变期的这种微观密度波动是依循某种幂律的、拿朗顿在冯·诺意曼宇宙中发现的较为抽象的二级相变来说，生命游戏这种第四等级分子自动机就显示了各种规模的结构、波动和“延长瞬变值”。

事实上，你甚至可以用精确的数学语言对巴克和朗顿的概念做出类比。在朗顿的有序状态下，系统总是能聚集为稳定的状态，就好像是临界点之下的怀，连锁反应总是消逝无迹，或像是一个决不可能导致沙崩的小沙堆。在朗顿的混沌状态下，系统总是转向不可预测的骚乱，就像一个超临界点的怀堆，会引爆连锁反应，或像一个巨大的沙堆，会因无法自我支撑而导致沙崩。而混沌的边缘就像自组织的临界性状态，正好处于上述两种情况之间。

但这两个概念之间仍然存在令人困惑的差异。朗顿的混沌的边缘的整个观点是，处于混沌边缘的系统具有进行复杂计算和表现类似生命行为的潜力。巴克的临界状态概念似乎与生命和计算毫不相关。（地震能够计算吗？）而且，朗顿的理论并未提及系统必须处于混沌的边缘，正如派卡德所指出的，系统只能通过自然选择达到混沌的边缘。巴克的系统却是在沙粒、能量、或任何形式的输入的推动下自发进入临界状态。这两种相变概念如何相互吻合，一直是一个未解的问题。

但考夫曼对此并不十分担心。这两个概念显然能够吻合。不管在细节上如何，在自组织的临界性这一点上，这两个概念显然如出一辙。更妙的是，巴克看问题的视角助使他澄清了某些一直在困扰他的问题。处于混沌边缘的单个作用者就是其中的一个令他困惑的问题。混沌的边缘正是经济允许单个作用者思考和生存的地区。但如何整体地看待这些作用者呢？举经济为例，人们谈论经济问题时，就好像经济是有情绪的、能够做出反馈、会感染上热情的东西。经济体是处在混沌的边缘吗？生态平衡系统是处于混沌的边缘吗？免疫系统呢？全球的国际关系

呢？

考夫曼说，为了便突变具有意义，你本能地相信这些都是处于混沌边缘的系统。分子集体形成活细胞，可以假设这个细胞是处于混沌的边缘，因为它是有生命的。分子集体形成生物体，生物体集体形成生态平衡系统，等等。这些类比说明，我们似乎有理由认为，从同样的意义上来说，每一个新的层次都是有生命的，都存在于、或接近于混沌的边缘。

但这正是问题之所在：不论这个假设是否合理，你如何来测试它呢？朗顿通过从计算机屏幕上观察分子自动机的复杂行为来认识相变现象。但对于如何观察现实生活中的经济或生态系统，他却没有一点头绪。当你观察华尔街的行为表现时，如何区分何为复杂行为、何为简单行为？准确地说，当我们说全球政治或巴西雨林处于混沌的边缘，我们所指的究竟是什么？

考夫曼说，巴克的自组织临界性概念提供了一个答案。如果一个系统表现出各种规模的变化和骚动波，如果其变化的规模遵循着一种幂律，那么这个系统就处于临界状态。或者说是处于混沌的边缘。当然，这是用数学语言更为准确地说出朗顿一直在说的话：一个系统只有在正好能在稳定性和流动性之间保持平衡时才能够产生复杂的、类似生命的行为。但幂律是能够衡量的。

考夫曼说，要想看看这一切是如何发生的，我们可以想象一个稳定的生态系统、或一个成熟的工业系统，其中的作用者都已经相互磨合得非常好了，产生变化的进化压力非常小。但作用者无法永远驻足不前，因为如果不做改进，总会有作用者最终在一场巨变之中被淘汰出局。这也许是上了年纪的公司创办人最后去世了，由新一代接替了他，从而带来了新的经营思想；或也许是一个随机的遗传基因交换，使得某类物种具有了一种比以往跑得更快的能力。考夫曼说：“先是某个作用者开始发生变化，然后又引起其邻居的变化，这样就引发了变化的雪崩现象，一直到所有变化都终止下来。”然后其它作用者就又开始发生变化。确实，整个物种群都淋受着随机变化的毛毛细雨，就像巴克的沙堆那样沐浴在均匀落下的沙粒之下。这意味着，你可以预期任何紧密相连的作用者群都会使自己进入自组织的临界性状态，其变化的雪崩现象遵循着一种幂律。

考夫曼说，根据化石记载，一个长时间的停滞后会总会爆发一场急风暴雨式的巨变。这正符合许多古生物学家、尤其符合史蒂芬·戈尔德（Stephen J. Gould）

和尼尔斯·艾德瑞基(Niles Eldridge)所宣称在化石上确有记载的“间断式均衡”。而且,如果将这个概念做逻辑总结,你可以说,这些雪崩现象正是导致地球历史上大绝种的原因。在大绝种时期,整个物种都从化石记载上销声匿迹,完全被新的物种所取代了。六千五百万年前,也许是小行星和彗星的陨落灭绝了恐龙,所有的证据都证明了这一点。但大多数、或所有其它物种的灭绝却也许完全是内部原因造成的。生态系统在混沌的边缘发生的大于常规的雪崩现象就可能导致物种的灭绝。“关于物种的灭绝,我们没有找到足够的化石记载,缺乏具有说服力的解释。但你可以通过模拟来寻找幂律,可以做某种大概的模拟。”确实,他在听到巴克的谈话之后不久就做了这样的模拟实验。得出的图表不能完美地展示幂律。图表是弯曲的,这样较之较小的雪崩现象来说,就不会出现足以说明问题的大的雪崩现象。其结果也许就并不那么令人信服,但其数据的不稳定性却也能说明一些问题。

这个暂时的成功使得考夫曼希望进一步知道,幂律的变化瀑布是否就是处于混沌边缘的“有生命的”系统,比如像股票市场、技术的互动网络、雨林这类系统的一般性特点。虽然这方面的证据尚不足,但从长远来看,他感到这种预测仍然站得住脚。但现在,对混沌边缘的生态系统的思考把他的注意力引向了另外一个问题:这些有生命的系统是怎样到达混沌边缘的?

派卡德最初的回答,也是考夫曼自己的回答是,这些系统是通过对环境适应而到达混沌边缘的。考夫曼至今仍然相信这个答案基本上是正确的。但问题是,当他和派卡德实际动手进行模拟实验时,他们都要求这些系统要适应于从外部引入的、某种任意的对强健度的定义。但在现实的生态系统中,何为强健度却完全不是外部授予的,而是通过单个作用者之间相互适应,从共同进化之舞中脱颖而出的。正是这个问题驱使荷兰德致力于生态系统模型的研究:从外部引入对强健度的定义是自欺欺人。考夫曼认识到,真正的问题不是适应本身是否能把引入混沌的边缘,而是共同进化是否能把引入混沌的边缘。

要想弄清楚这个问题,或者起码要澄清他脑子里的这些问题,考夫曼就必须再做计算机模拟,而且还是和约翰森合作。他承认,随着生态系统模型的进展,计算机模拟成了一个很不错的关联论网络。(这个程序的核心是“NK 景观”的变量模型,这是他这些年来为更好地了解自然选择而致力开发的。他还想通过这个

模拟来了解，物种的强健度有赖于许多不同的基因是什么意思。NK 这两个字母的意思是，每一个物种都有N个基因，每一个基因的强健度有赖于K个其它基因。)荷兰德的生态系统模型已经相当纯粹了，而考夫曼的这个模型比荷兰德的生态系统模型更加抽象。但就其概念而论，它又相当简练。开始时，你想象一个生态系统，在这个系统中，物种通过自然选择法自由地变迁、演化，它们只能以某种特殊的方式相互作用。青蛙总是想用其粘乎乎的舌头抓住苍蝇、狐狸总是在猎获野兔，等等。或者，你也可以把这个模型想象成是一个经济体系，每一家公司都根据自己的自由意志进行内部组织和调整，但公司之间的关系却是被各种合同和规定所限定的。

考夫曼说，不管是在生态系统中还是在经济体系中，限定之下仍然有很多共同进化的空间。比如说，如果青蛙的舌头进化得长了一点，苍蝇就会学会如何才能更迅疾地逃生。而如果苍蝇进化出一种很难下咽的味道，青蛙就不得不学会忍受这种味道。因此，如何把这一切具体地呈现出来呢？考夫曼说，一种方法就是逐个地观察这些物种。比如说，先观察青蛙。在任何时候青蛙都会发现采取某些策略的效果比采取其它策略的效果要好。所以在任何时候，对青蛙来说，一组可以采用的策略就会形成某种想象的“适应度”景观，其中最有用的策略高高居于制高点，最无用的策略则会堕入谷底。而且，青蛙随着进化而徜徉于这个景观中，每经历一次变化，就是它从目前的策略向新的策略的一步迈进。当然，自然选择保证了其进化的平均运动总是朝向更高的适应度，而导致青蛙走下坡路的变种总是趋于灭迹。

考夫曼说，这种情况也同样发生在苍蝇、狐狸和野兔等物种的进化中。每一个物种都徜徉在自我景观之中。但共同进化的整个要义就在于，这些景观都不是独立存在的，而是互为条件的。对青蛙而言的好策略有赖于苍蝇的行为，反过来亦然。“所以一个作用者的调整会导致所有其它作用者适应度景观的改变。你不得不想象青蛙向其策略空间的高峰攀登、苍蝇也向其策略空间的高峰攀登，但其景观会随着它们的攀登而变形。”就好像每一个物种都是走在橡胶上。

考夫曼说，现在我们来思考这种系统的动力是怎样的？全球性行为表现又是怎样的？这些行为表现又是怎样相互关联的？这就是我们要做的模拟。当他和约翰森建立和启动了他们的NK生态系统模型，他们的三大发现恰好和朗顿的发现

一模一样：秩序阶段、混沌阶段和类似混沌边缘的相变阶段。

这个结果很令人满意。考夫曼说：“不一定必须是这个结果，然而确实是这个结果。”但现在回想起来却很容易明白其中的道理。“想象一个巨大的生态系统，其中的景观都成双配对。那就只能发生两种事情。要么所有物种都向上攀登，身后的景观随着它们的攀援而变形，这样它们就一直不停顿地往前走。或者，有一群彼此近邻的物种真就停顿下来，因为它们达到了史密斯所谓的进化的稳定策略。”那就是，这群物种彼此合作得十分默契，失去了需要改变的直接动力。

“这两种情形能够在同一时间发生在同一个生态系统中，有赖于其景观的具体结构和它们相互之间是如何配对成双的。”考夫曼说。“让我们来观察一组选手，它们因为已经达到了局部最优化而不再向上攀援了。把这些选手涂成红色，把其它作用者涂成绿色。”考夫曼和约翰森确实用这种方法在计算机屏幕上显示了这个模拟。当这个系统深陷于混沌之中，几乎没有作用者能够静止不动时，计算机屏幕显示出一片绿色之海，只有少数红色孤岛闪烁其间，代表少数力图找到暂瞬均衡的物种。相反，当这个系统凝固在有序之中时，几乎所有作用者都锁定在均衡状态中，计算机屏幕就会呈现出一片红色之壤，只有少数绿色迂回其间，代表无法安顿下来的单个物种。

当然，当这个系统处于相变阶段时，秩序和混沌正好持平，一切都恰如其分，计算机屏幕似乎出现生命的脉冲。红色岛屿和绿色岛屿相互交织，喷射出的卷须就像随机的碎片。这个生态系统的一部分永远都能达到均衡状态，转为红色，而另一部分永远闪烁不定，随着不断发现新的进化途径而转为绿色。大小不一的变化之波扫过计算机屏幕，包括偶尔出现的巨大波涛自发地席卷屏幕，使整个生态系统变得面目全非。

考夫曼说，这看上去像是间断式平衡行为。但有意思的是，我们所能看到的三种动力形式都是以这种方式在屏幕上显示出来的。令人满意的是，我们可以看到，共同进化的模型确实存在混沌边缘的相变，但这只是故事的一半，仍然缺乏对生态系统是怎样到达这个边缘地区的解释。另一方面，迄今为止，考夫曼在整个的橡胶故事和变形的适应度景观中只告诉了我们单个基因的变种过程这一件事，却没有涉及每个物种的基因组结构的变化，即，能够显示一个基因如何与其他基因相互作用的内部组织图。考夫曼说，也许基因组织结构和基因本身都是进

化的产物。“因此你可以想象进化的总趋势，一个能够调整每个作用者的内部组织，使这些作用者一直驻足于混沌的边缘的过程。”

为了检测这个概念，考夫曼和约翰森允许他们模拟的作用者改变其内部组织。这相当于荷兰德所谓的“探索性学习”，也很像法默在关于关联论模型的罗塞塔巨石论文中所提及的从根本上重组关联的概念。结果是，当物种具备了进化自我内部组织的能力之后，整个生态系统确实向着混沌的边缘发展。

现在回想起来，同样很容易看清楚为什么会是这样的情形。考夫曼说。“如果我们深陷于有序状态，那么所有的人都在适应度的制高点上，并保持相互一致。但这是很糟糕的制高点。”也就是说，所有人都步入了下坡的道路，无法挣脱羁绊，向顶峰迈进。在人类的组织中，这就像把工作细化到让所有人都失去自由，只能在受雇的岗位上学会如何干好这个工作。但不管这个比喻是否恰当，很显然，如果各种组织中的每个人被允许有一点踩着不同鼓点前进的小小的自由，那么所有的人都会有所受益，严酷凝冻的系统就会有一点儿松动，整体的适应度就会上升，其作用者就会集体向更接近混沌边缘的方向移动。

反过来说，“如果我们深陷混沌状态，我的每次变化都会把你也搅得乱七八糟，你的每次变化也会把我搅得乱七八糟，我们就永远达不到高峰。因为你不断踢我，我也不断踢你，就像西西弗斯（古希腊大力士）使劲要把石头推上坡一样。我的整体适应度就会因此变得相对较弱，你的整体适应度也同样会变得相对较弱。”从组织上来说，这就好像一个公司的指挥系统陷入一片混乱之中，弄得所有的人都完全不知道该做什么。或者说，每个作用者都显然应该稍稍加强一些与对手的相互配合，这样就能很好地根据其它作用者的行动来调整自己。混乱的系统就会变得稍稍稳定一些，其整体适应度就会上升。这样，整个生态系统就又会移近混沌的边缘。

当然，在介于有序的状态和混沌的状态之间，整体适应度无疑会达到顶峰。考夫曼说：“从我们做过的无数模拟的结果来看，最大的适应度恰恰出现在相变阶段。所以关键在于，所有作用者都改变自己的景观，就好像受到一只无形的手的控制。每一个作用者这样做都是为了有利于自己，从而使整个系统在共同进化中向着混沌的边缘发展。”

考夫曼说，所以情况就是这样：根据隐含在化石记载中的一种幂律，全球的

生物圈接近混沌的边缘。一些计算机模拟也表明,各种系统可以通过自然选择法来调整自己,不断走向混沌的边缘。目前已经有一个计算机模型表明,生态系统也许能够通过共同进化达到混沌的边缘。“迄今为止,这还是唯一的证据,证明混沌的边缘其实就是复杂的系统为解决复杂的问题而走向的区域。这一证明还相当粗略。所以,尽管我非常欣赏这个假设,认为它绝对具有说服力和信服力,也非常有诱惑力,但我却不知道它是否具有普遍的意义。”

最后,这个新的第二定律起码应该还有一方面的解释:“它必须包括这样一个基本事实,即生物体自诞生开始就趋于越变越复杂。我们需要知道,为什么生物体会越变越复杂?越变越复杂对生物体有什么益处?”考夫曼说。

当然,唯一诚实的回答是:迄今为止无人知晓其答案。“然而这却是我对整个问题思考的关键。我从对生命起源——自动催化——聚合物组模型的研究开始,到对也许跟随其后的复杂和组织的理论的研究,都是在对这一问题进行思考。”他承认,这个理论仍然含糊不清、非常不明确。他无法宣称他对这个理论的研究已经令自己满意了。“但这正是我对卡诺式的暗示所寄予的最深的希望。”

不无讽刺的是,就他自己而言,自动催化组的概念被遗忘已久。考夫曼说,1986年他和法默、派卡德共同出版生命起源模拟时,法默已经转向预测理论的研究了,派卡德正在帮助史蒂芬·伍弗雷姆在伊利诺斯大学创办一个复杂系统研究所。考夫曼觉得他一个人无法继续这个模型的开发,这不仅仅是因为桑塔费研究所每天都有许多吸引他的注意力的热门课题,也因为他也缺乏耐心和计算机编程技术,无法每天坐在计算机面前,从复杂的软件程序中纠正编程错误来。(确实,对生命起源的研究1987年才重新恢复。当时法默找到了一个名叫里查德·巴格雷的研究生,他有兴趣以此项研究作为他博士论文的题目,巴格雷极大地完善了这个模拟,对热动力学做了更为逼真的度量,还做了一些其它修改,而且还大大提高了计算机编码速度。他于1991年获得了博士学位。)

结果,考夫曼在后来的四年中在自动催化方面没有做多少研究。一直到1990年,他听了德意混血的年轻博士后沃尔特·方塔纳(Walter Fontana)的一次讲演。方塔纳最近已经加入了罗沙拉莫斯法默的复杂性系统小组。

方塔纳的研究是从听起来简单得让人难以置信的宇宙观察开始的。他指出,当我们观察从夸克到银河的宇宙万物万象时,只有在分子层才能发现与生命有关

的复杂性现象，这是为什么呢？

方塔纳说，一种回答仅仅只涉及“化学”。生命很显然是一个化学现象，而只有分子与分子之间才能自发地产生复杂的化学反应。但还是这个问题，这是为什么呢？是什么让分子产生化学反应，而夸克和类星体却不能？

他说，是两件事。化学力量的第一个来源就是多样性：原子能组合、重组成各种不同的分子结构，不像夸克只能三个一组地组成中子和质子。分子的可能性空间受到了很大的限制。化学力量的第二个来源是反应性：结构 A 可以通过操纵结构 B，组合成某种新的结构：结构 C。

当然，这个定义遗漏了许多事情，比如像速率常数和温度变化，而这些恰恰是理解真正的化学的关键。方塔纳说，他是故意遗漏这些的。他的观点是，“化学”实际上是一个可以应用于各种复杂系统的概念，包括经济、技术、甚至思维系统。（各种货物和服务之间相互进行交易，产生新的货物和服务。各种思想之间也能撞击出火花，产生新的思想，等等。）因此，一个把化学提炼到最纯粹的本质的计算机模型，即，能够提炼出多样性和反应性本质的计算模型，应该能够给你提供一个研究世界上复杂性增进问题的全新的视角。

为了达到这个目的，方塔纳回到计算机编程的实质上，对他称为算法的化学、或“炼金术”做出界定。他说，正如冯·诺意曼很久以前所指出的那样，一条计算机编码有一个双重生命。一方面，它是一个程序，一系列告诉计算机怎么做的指令，但另一方面，它又只是数据，是存储在计算机内部某处的一序列符号。所以让我们利用这一事实来界定两个程序之间的化学反应：程序 A 把程序 B 当输入数据来读，然后通过“执行”来产生一系列输出数据，这样，计算机就等于译出了一个新的程序，程序 C。（因为用 FORTRAN 或 PASCAL 这样的计算机语言显然不能做好这个实验，所以方塔纳实际上是用 LISP 语言编写了反应程序。在这个程序中，几乎所有程序序列都能代表一个有用的程序。）

方塔纳说，下一步就是将无数符号序列程序置入一口模拟大锅，让它们可以随机地相互反应，然后观察会发生什么，事实上，其结果与考夫曼、法默、派卡德他们的自动催化模型的结果相差无几，只是，方塔纳的系统还产生了些离奇而美妙的变化。能够自我维持的自动催化组当然出现了，但还产生了许多可以无限限制发展的组合。有些组合在它们的某些化学成分消除之后还能够自我修复，有一

些组合在被注入了新的成分之后能够进行自我调整 and 改变。还有一些组合的成分完全不同，但却能相互催生。总之，炼金术程序意味着，纯过程的集合，也就是方塔纳的符号串程序，确实足以自发地涌现出某种非常具有生命力的结构来。

考夫曼说：“我确实对方塔纳的研究感到激动万分。我已经对自动催化聚合物问题思考了很久，为此做了经济和技术网络模型，却不能对聚合物研究出个结果来。但我一听说方塔纳的研究就知道答案就是它了。他想出了个结果。”

考夫曼立即决定跟进方塔纳的思路，以极大的精力重返自动催化游戏，但要在方塔纳的研究基础上做出他自己的修正。他认识到，方塔纳已经认识到抽象化学，将此作为思考涌现和复杂的一个全新的视角。但他的研究结果是抽象化学的一般性特征吗？或这只是他实施他的炼金术程序的方法？

考夫曼在 1963 年刚开始设计网络模型，研究基因调节系统时也问过同样的问题。他说：“就像我当时想找出基因网络的一般性特征一样，我也想观察抽象化学的基因特征。这就要调试化学的复杂性和其它一些因素，诸如分子的原始组合有多大的多样性、所展现的行为的一般性结果是什么？”考夫曼没有直接采取方塔纳的炼金术，而是把这个概念更加抽象化了。他仍然利用符号序列来代表系统内的“分子”，但他甚至并不要求它们一定是程序。它们可以只是符号序列：110100111、10、111111，等等。他模型中的“化学”则只是一组告知某些符号序列怎样转换另外一些符号序列的规则。既然符号序列就像语言中的字符，那他就把这组规则称为“语法”。（事实上，这种符号序列转换的语法已经从计算机语言的角度被广泛地研究，考夫曼也是从中得到了启示。）结果，他可以通过制定任意一组语法规则，来对各种化学反应行为进行抽样研究。

他说：“我是在凭直觉做这个实验。我从一锅符号序列开始，让这些符号序列根据语法规则相互作用。也许新的符号序列总是比旧的符号序列长，这样就永远不会重复以前的符号序列。”我们把所有可能的符号序列中的那些向外发射得越来越远，并从不回顾的符号序列称之为“发射器”。“当出现一朵符号序列云时，也许会是以前的符号序列的重复，但其组合方式却与以往不同，我就把它称为‘蘑菇’，那都是些自动催化组，是依靠自身的力量而诞生的模型。然后也许会出现一组依靠集体的力量诞生、徜徉于符号序列空间的符号序列，我就把它称为‘卵’。卵会自我繁衍，但其中任何一个单一的实体都无法实现自我繁衍。或者也可能会

出现被我称为‘金丝雾’，即散布于各处的各种符号序列。但有些符号序列你是无法得到的，比如像 110110110。因此还会有些新的东西可以玩玩。”

所有这些与神秘而永不衰竭的复杂性增长有什么关系呢？考夫曼说，也许大有关系。“复杂性的增长确实与远远超越均衡、阶式地连接成越来越高层次组织的系统的自我繁衍有一定的关系。这些系统从原子、分子，发展到自动催化组，依次渐进。但关键的问题是，一旦更高层次的实体出现以后，它们之间就能够进行相互作用。”一个分子可以和另一个分子相连接，形成一个新的分子。于符号序列群中突现出来的那些物体所发生的也是这种情形。创造了那些物体的化学同样能够让它们通过相互交换符号序列来产生丰富多样的相互反应。“比如说，现在有一个卵，你从外面扔进一串符号序列，它也许会变成一个喷射器、或变成另外一个卵，或变成一团金丝雾。这对其它物体也一样。”

考夫曼说，不论在哪种情况下，一旦产生了相互作用，一般来说，只要条件允许就会出现自动催化，无论你讨论的是分子还是对经济，都一样。“一旦在更高层次上积累了一定数量的多样性，就会进入某种自动催化相变阶段，就会在这个层次上引发新的实体的激增。”然后这些激增的实体继续相互作用，产生更高层次的自动催化组。“所以就出现了由低层次到高层次阶梯式上推的发展，每一个层次的上推都要经过某种类似自动催化的相变阶段。”

考夫曼说，如果事情确实如此，你就能够看到，为什么复杂性增长显得如此无止无休，复杂性增长只不过反映了生命起源的自动催化法则。这一点当然必须包括在假设的新的第二定律之中。但尽管如此，考夫曼认为这也并非故事的全部，因为他最终认识到，自组织并不是生物学的全部。事实上，当你思考这个问题时，这个层层上推的阶梯式发展只不过是另一种自组织的形式。所以，自然选择和适应性是怎样影响和左右这种层层上推的发展的呢？

考夫曼说，他确实还无法确定地回答这个问题，但他还是有些想法的。“我的想法既不是深刻的洞见，也不是什么愚见。但最近有一天我突然被这个想法吞噬了。如果你从某些原始符号序列组开始，这些原始符号序列组也许会产生符号序列的自动催化组、也许产生喷射器自动催化组、也许产生蘑菇，或卵，或不管什么吧。但它们同样也会产生死符号序列。‘死’符号序列意味着这个符号序列是无效的，不能作为触媒，也不能和任何符号序列产生相互反应的符号序列。”

很显然，如果一个系统产生许多死符号序列，则这个系统就不会迅速扩展，这就像一种经济，将其大多数产品都转产成既无人问津、又不能再用来制成其它东西的小玩艺。“但如果‘有生命力的’、有繁殖能力的符号序列能够进行自组织，不至于产生这么多的死符号序列，那么就会出现更多的有生命力的符号序列。”这样净生产力就会上升，这组有生命力的符号序列对那些不能很好进行自组织的符号序列组来说就有了一种可选择的优势。事实上，当你观察计算机模型，就会发现，趋于死亡的符号序列确实随着模拟的进行而减少。

“同时我想，这个概念尚有可改进之处。假设从原始组合中发展而来的两个喷射器为了争抢符号序列而发生竞争。如果第一个喷射器能够帮助第二个喷射器避免产生死序列，而第二个喷射器也能反过来帮助第一个喷射器避免产生死序列，就能产生多喷射器。”这对互动喷射器也许就能形成一个新的、多喷射器结构，即一个更高层次上的新型的、更为复杂的个体。考夫曼说：“我有一个预感，更为有序的物质之所以出现，是因为它们能够更快地吞入更多的资源。所以我想把所有这些整合成一个互生共进的过程理论，事物在这个过程中通过相互竞争获取资源，从而自我发展。与此同时又使自己走向混沌的边缘。”

在宇宙的家园

法默说，科学探讨许多事情。科学是事实和数据的系统积累，是对这些事实做逻辑而连贯的理论建设，是对新材料、新药物和新技术的发现。

但科学的内核是对世界做出解释。科学的故事是对世界为何和何以如此的解释。科学的故事就像创世纪之谜、史诗和神话故事这些旧有的解释一样，有助于我们了解我们人类自身，以及人类与宇宙的关系。科学的故事解释了宇宙是怎样在一百五十亿年前的大爆炸中形成；解释了夸克、电子、中子和其它所有物质怎样在大爆炸中飞溅四迸，形成热得难以形容的原生质，这些粒子又是如何逐渐凝固成我们今天所见的银河、恒星和行星；科学的故事还告诉我们，太阳是一颗恒星，就像其它恒星一样，而地球是一颗行星，就像其它行星一样。地球上的生命于地质期的四十亿年前诞生，而我们人类诞生于三千万年前非洲的热带大草原，然后慢慢出现了劳动工具、文化和语言。

现在我们又有了这个关于复杂性的故事。法默说：“我几乎把它当成了一个宗教问题。作为一个物理学家和科学家，我的最大愿望一直是渴望了解我所置身的宇宙。对我这个泛神论来说，大自然就是上帝。因此我通过了解大自然来接近上帝。实际上，直到在研究生院读三年级的时候，我都没有梦想过我能找到一份科学家的工作。我只是做我所做，而没有把这当作是加入一个修道院。”

“所以我们所询问的诸如生命是怎样出现的，为什么具有生命的系统会像现在这个样子等问题，其实就是了解我们是谁，是什么使我们有别于无生命的物质的本质。对这些问题知之越多，就越是接近像‘人生的目的何在？’这样的根本性问题。在目前的科学领域，我们不可能正面回答这类问题，但我们可以提出不同的问题，比如，为什么事物不可遏制地趋于复杂？我们也许能由此获知生命的某些根本特征，从而悟出人生的目的，就像爱因斯坦通过了解地球引力而领悟到时空的本质。这使我想到了天文学中转移视线的比喻：如果你想看清楚一颗亮度十分微弱的星星，那你的视线就应该稍稍偏移一些，因为这样你的眼睛就会对微弱的光线变得更敏感些。只要你一正视这颗亮度微弱的星星，它就会消失。”

法默说，同样，要了解不可遏制地增长的复杂性，需要的并不是一个关于道德的完整的科学理论。但如果新的第二定律能够帮助我们了解我们是谁，了解使我们具有大脑和社会结构的整个过程，便能使我们对道德比以往知道得更多些。

“宗教通过把道德规范刻在石碑上来强迫人们接受。我们现在就面临这样一个实际问题，因为如果我们废弃了常规的宗教，就不知道还能遵循什么别的东西了。但如果你剥尽宗教和道德规则，就会发现它们提供的是使社会能够正常运转的人类行为结构。我觉得所有的道德都是在这个层次上发生作用。这是一个进化的过程，在这个过程中，社会经常进行各种实验，无论这些实验是成功还是失败，都将决定未来的文化思想和道德规范。”他说，如果是这样的话，则一个能解释为什么共同进化的系统会导致走向混沌的边缘的理论，就能对其文化动力、以及为什么社会能够企及自由与控制之间难以捉摸、永恒变化的均衡点做出有力的诠释。

朗顿说：“我对所有这一切的含意做了大量纯臆测性的结论。我透过这些相变之镜来看世界，从而得出这样的结论。你可以把这个观察方法用于对许多事情的观察上，而且会发现其放之四海而皆准。”

他说，前苏联和东欧国家共产主义体系的崩溃，使他无法不从当时的整个情况联想到在混沌边缘上稳定与动乱的幂律分布。“如果你从这个角度来看问题，那么，冷战时期其实就是事物长期停滞不变的一种情况。虽然美苏这样举枪瞄准世界之颇具有很大的危险性，但这又是防止双方毁灭全球的唯一方式。在那段时间，世界非常稳定。但现在，那段稳定期已经结束了，巴尔干和其他地方的动乱此起彼伏，我对即将要发生的事更加忧心忡忡，因为在模拟的模型中，一旦你超越了这些亚稳定期，就进入了大幅度变化动荡的混沌期，战争的可能性大大增加，有些战争甚至可能引发世界大战。现在的局势比以前更加敏感。”

“所以究竟什么是正确的行动呢？我不知道。我只知道这就像进化史上的间断式均衡。如果没有一个大规模的灭绝，是不会出现这种情况的，而且这也不一定是向更好的方向的进一步迈进。有些计算机模型表明，在动荡之后的稳定期内占优势的物种也许并不比动荡前占优势的物种更好。所以这种进化改变期可能会是非常糟糕的阶段。这可能会是美国作为一个超级大国在国际舞台上销声匿迹之时，但谁知道什么事会从另一个极端冒出来呢？”

“我们所要做的，是决定我们是否能够把间断式均衡的概念应用于对历史的诠释。如果能够的话，我们是否也会从历史上看到这种间断式均衡，比如像罗马帝国的衰落。因为在那个时期，人类确实处于进化的过程之中。如果我们真的研究罗马帝国衰落的过程，我们也许就能够将间断式均衡的概念和政治、社会和经济理论结合起来。这样我们就能够认识到，我们必须十分小心地达成某种全球性的协议和盟约，才能安全度过历史难关。但问题是，我们想控制自己的进化吗？如果想，我们的控制能够阻挡进化吗？进化总是件好事。如果单细胞物体能够找到一种停止进化的方法，始终保持其占主导地位的生命形式，那我们人类就不会出现了。所以你并不想停止进化。但另一方面，也许你想知道如何能避免杀戮和灭绝，使进化延续下去。”

朗顿说：“进化尚未停止，这也许是我们应该从中汲取的教训、进化在继续，除了现在正在发生的社会和文化的巨大变化之外，进化还呈现出与生物史的许多雷同的现象。也许我们能够看到许多诸如此类的灭绝和动荡。”

考夫曼说：“对此所代表的一切含义，我可以做部分的回答。”他最近思考颇多，而且是事出有因。1991 年感恩节不久，他和他的妻子在一次车祸中严重

受伤，差点丧生，几个月后才恢复过来。

“如果，假设关于生命起源的模型是正确的，那么，生命就并非是悬于平衡，生命的出现就并不是因为某个温暖的小池塘偶然能够复制DNA或RNA这样的分子样板。生命就应该是复杂物质的自然表现。这是化学和催化媒合的深层特征，这种特征远离均衡状态。这意味着，宇宙就是我们人类的家园，我们是必然之物。这一点真令人欣慰！这个观点与将生物体当作粗劣拼凑的装置，是所有特定成分叠加在一起所形成的未定名的新产品的意像相去甚远。在这个将生命的出现当作偶然事件的意像中，缺乏比随机变化和自然选择更为深刻的生物学法则。按这个说法，宇宙并非我们人类的必然家园。”

“再有，假设很多年以后，在自动催化组已经形成相互之间的共同进化、相互喷射符号序列之后你才回来，你会发现，仍然存在于世的事物，就是那些在演比中产生出竞争能力，能够发生相互作用，具有食物链和依生共存能力的事物。你所见到的就是那些创造了这个共生共长的世界的事物。这使我想到了，我们所生存的世界就是我们创造出来的相互依存的世界。我们是这个不断发展的故事中的角色，我们就是宇宙的一部分，你、我，还有金鱼，我们共同创造了这个共处的世界。”

“现在让我们假设，共同进化的复杂系统确实能够自我趋于混沌的边缘，这就很类似盖亚，即一种吸引物，一种我们共同自我维持、具有永恒变化的特点的状态。在这个状态中，旧的物种经常遭到灭绝，新的物种不断涌现。如果我们真的把这想象成是经济体系，那就是新的技术不断出现，不断取代旧的技术。如果这是真的，那就意味着，平均地说，达到混沌的边缘是我们做得最出色的事。从某种意义上来说，我们注定为自己创造的这个永远开放、永恒变化的世界，是我们力所能及的最佳杰作。”

考夫曼说：“这是一个关于我们自己的故事。物质竭尽其力朝最好的方向进化，宇宙就是我们必然的家园。但这并不等于一劳永逸，因为还有许多痛苦。你将被灭绝、会身心俱裂。但我们现在正处在混沌的边缘，因为这是我们能有最佳表现之地。”

遭到苛责

1989 年底，法默一直在担心的事终于发生了，朗顿向罗萨拉莫斯总部申请一项国际基金。在审查文档的过程中，实验室的上层人物发现朗顿已经做了三年的博士后，却仍然没有拿到博士学位。“这下可坏了事，”法默说，“我现在仍然记得此事，因为当时我正在意大利度假。他们不知怎么找到了我的行踪。我不得不往家里打一连串的电话，往电话机里投了几千里拉的硬币。回来后又不得不到博士后委员会去为朗顿辩护，同时作为朗顿的导师，我还得为自己辩护。我受了一顿狠狠的苛责。‘怎么能发生这种事情呢？’他们教训我说。我能做的就是告诉他们，朗顿是一门全新的科学领域，人工生命科学的创始人。然而这个解释却引起了他们更大的疑心。最后，因为朗顿未完成博士学位，我们甚至不得不为他申请博士后资格再延期三个月。”

法默和朗顿工作的非线性研究中心主任戴维·康贝尔一如既往地支持朗顿。但大家都明白，压力已经压下来了。首要的是，第二届人工生命学术会议已定于 1990 年 2 月召开。这次虽然朗顿在组织工作上有法默和其他一些人的帮助，但这个研讨会仍然是他的婴儿，而他还必须完成这篇见鬼的博士论文。所以他像发了疯一般地工作。1989 年 11 月，他飞往安·阿泊，做好了在博士论文答辩委员会面前进行答辩的准备。他的博士论文答辩委员会是由荷兰德和勃克斯共同主持的。如果他们认为他的博士论文能够被接受，就会当场授予他博士学位，使他释下重负。

但很不幸，他的博士论文答辩委员会的一致意见是：“尚不能通过。”他们说，这篇论文中对基本的混沌边缘的理论的论述非常精彩，你做了大量的计算机实验来支持这一论述。但你对伍尔弗雷姆的等级之说、对计算的涌现等做了过泛的陈述，而且数据之间的关联也相当含糊。你要做的是对你的陈述降低调门，使其更支持你的论点，同时将之与数据更好地结合。

但这意味着要重写整篇论文！朗顿沮丧万分地说。

那你最好立刻就开始重写。荷兰德、勃克斯和其他人说。

“这真是一个让人沮丧透顶的时刻。”朗顿说。“我以为我已经做好了答辩的准备，但却没有成功。而第二届人工生命研讨会即将于 2 月份召开。所以我只好把论文搁置一边。”

第九章 乘胜前进

1989 年刚过圣诞节，布赖恩·阿瑟就满载书籍和衣物驱车西行，从桑塔费返回他在斯坦福大学的家。他凝视着新墨西哥辉煌的落日，沐浴在沙漠的一片金光之中。“我当时想，这简直浪漫得不像是现实了。”他笑道。

但这确实是身临其境的感觉。他说：“我在桑塔费研究所已经呆了十八个月了。我感到我需要回家了，需要回去撰写、去思考、去理清头脑中的一切。我脑子里装满了各种新思想、新概念，我觉得自己在桑塔费的一个月中所学到的，比在斯坦福一年中所学到的还要多。这一年半的体会简直过于丰富了。但要离开桑塔费却仍然是件伤心的事。我感到非常非常伤感。说得好听一点，这是一种怀念之情。眼前的一切景色，沙漠、阳光、落日，使我清楚地意识到，在这儿度过的十八个月是我科学生涯的巅峰期。但现在已经结束了，而且不会轻易再现了。我知道还有别人会来桑塔费，继续我们的事业。我知道我也许也还会再来，甚至将来某一时期也许会回来主持某个经济学项目。但我怀疑，到那时候桑塔费研究所还会是老样子。我感到自己置身于桑塔费的鼎盛期是一件非常荣幸的事。”

复杂之道

三年以后，这位人口研究与经济学系主任教授坐在他的办公室临窗的一隅，俯视着斯坦福大学的林荫大道。他承认，他对在桑塔费所经历的一切仍没有完全理出头绪来。阿瑟说：“随着时间的推移，我越来越欣赏桑塔费的想法和概念。但我想，桑塔费的故事仍然在继续。”

他说，最根本的是，他开始认识到，桑塔费研究所将是众多变化的催化剂。没有桑塔费研究所，这些变化也总是会发生，但却要缓慢得多。当然，经济学研究项目正是如此。他离开后，这个项目在明尼苏达大学的戴维·兰恩和耶鲁大学的约翰·吉纳考普罗斯（John Geanakoplos）的主持下继续进行。“到 1985 年左右，似乎各类经济学家都在探索新的方法，他们开始四处张望、各处寻觅，

深感统治了以往三十年的常规经济学理论已经达到了极限。旧有的理论曾经促使他们深入探索能够用静滞的均衡分析方法所解释的问题。但常规理论忽略了过程、进化和型态形成等问题。在这些问题中，没有均衡可言、偶然因素不断出现、历史事件关乎重大、而适应和进化水不衰竭。当然，对这些问题的研究当时陷入了困境，因为经济学理论在未能用数学形式做完整表述之前，不能成其为理论。大家只知道如何在均衡的条件下从事研究，但一些最优秀的经济学家已经感到，经济学研究必须从另一个方向有所突破。”

“桑塔费研究所所做的，正是扮演了这一切变化的伟大催化者。在桑塔费研究所，经济学界的许多杰出人物，许多像汉恩和阿罗这样的顶尖人物，能够与像荷兰德和安德森这样的杰才相互交流。他们通过一段时间的相互交谈认识到：对呀！我们可以采用归纳学习法，不一定要采取演绎逻辑法。我们可以斩断均衡的困结，面对指向开放的进化，因为其它学科对这类问题早已开展了研究。桑塔费为这方面的研究提供了专用术语、比喻、专家咨询等经济学领域急需的技术基础和支持。但更重要的是，桑塔费研究所使这个新的经济学观点合法化了。因为当人们听说像阿罗、汉恩、沙金特这样的人物在撰写这类的学术论文时，他们会觉得，那其他人照此行事也就完全合情合理了。”

近来，阿瑟每次参加经济学会议都可以看到事态在这样发展。他说：“一直都有人对经济过程和变化的问题感兴趣。”确实，早在二十年代到三十年代，伟大的匈牙利经济学家约瑟夫·熊彼特就倡导过其中许多基本概念。“但我的感觉是，在最近四五年中，有这种思想的人信心大增。他们不用再为只能对经济变化做出语言上的和定性的描述而感到歉意了。现在他们已经全副武装，对经济过程和变化的研究已经形成了一个蓬勃发展的运动，并正在成为主流经济学的一部分。”

阿瑟说，这个运动当然使他的日子好过得多了。他的曾经不予发表的报酬递增率理论现在有了跟从者，他被当作受人尊重的学者邀请到各种场合和很远的地方作学术报告。1989年，他应《科学美国人》(Scientific American)的邀请，为这个杂志撰写了一篇关于报酬递增率方面的文章。“这是件令我最高兴的事。”他说。这篇文章于1990年2月被该杂志刊登出来，使他成为1990年度进化经济学最佳研究熊彼特奖的获奖者之一。

但对阿瑟来说，阿罗在 1989 年 9 月对桑塔费式经济学研究的评价才是令他最为感激的。当时，肯·阿罗是在一个为期一周、迄今为止规模最大的经济研讨会的总结发言中说的这番话。但不无讽刺的是，阿瑟那天基本上没听见阿罗在说些什么。他说，那天中午他走出小教堂大门去吃午饭的时候，不慎严重扭伤了脚。整个下午他在小教堂改成的会议室里忍着疼痛参加闭幕式。考夫曼为他包扎了扭伤脚，他面前的椅子上还放着一袋让他敷脚的冰块。阿罗在闭幕式上的发言直到几天以后才让他感到如闻春雷。当时他不听医生、同事和妻子的劝告，一瘸一拐地赶到西伯利亚的伊尔库茨克去参加一个企划已久的会议。

他说：“那就好像凌晨三点钟的一道亮彻天穹的闪光。当时飞机刚落在伊尔库兹克，有一个人在跑道上骑着自行车，手里晃着一根光棒，指示我们哪儿有出租车。顿时，我想到了阿罗在闭幕词中所说的话，一下子就恍然大悟了。阿罗当时说：‘我想我们现在可以很安全地说，我们已经有了另外一种经济学。我们原来已经有了一种经济学，就是我们大家都很熟悉的常规经济学’他很谦虚，没有把这称为阿罗—德布诺体系 (Arrow—Debre system)，但他指的基本上就是新古典经济学和一般的均衡理论。‘现在我们又有了另一种经济学，桑塔费式的进化经济学。’他很清楚地说，对他来说，这一年的进展表明，这是研究经济学的另一种有效的方法，其重要性与传统的经济学理论等量齐观。这并不是说常规经济学理论错了，而是我们又探索到了一个新的方法。这个新的方法适用于对常规方法之外的经济学的研究。所以，这个新的方法是对常规经济学的一种补充。他还说，我们并不知道这个新的经济学将会把我们带向何方。现在这个研究还只是一个开端。但他发现这项研究非常有趣、非常令人激动。”

“他的这些话使我无比兴奋。”阿瑟说。“但阿罗还说了第二层意思。他将桑塔费的研究与考勒斯基金会 (Cowles Foundation) 的研究做了比较。他从五十年代初开始就与考勒斯基金会的研究保持着联系。他说，与考勒斯基金会的研究的同期水平相比，还不到两年的桑塔费研究目前似乎更易为人接受。我听到他的这番评论简直惊喜之极，感到受到了莫大的褒奖。因为考勒斯基金会项目组的成员都是当今经济学界的少壮派人物。他们中间有阿罗、库珀曼斯、德布诺、科林 (Klein)、赫威兹 (Hurwicz) 等人。其中有四人获过诺贝尔奖，还有几个正在步上诺贝尔奖的领奖台。他们是用数学规范了经济学的大人物，是为后几代人制

定了规范的人物，是实际上在经济学领域领导了一场革命的人物。”

从桑塔费研究所的角度来看，催化经济学领域的巨变只是他们为催化整个科学界复杂性革命所付出的努力的一部分。他们的探索也许最终是一场幻梦，但阿瑟相信，乔治·考温、马瑞·盖尔曼和其他人已经准确地把握了最重要的问题。

他说：“不是科学家的人总是认为科学是演绎出来的。但其实科学主要是通过比喻而来的。现在的情形是，人们头脑中的某一类比喻发生了变化。”回顾以往，想象牛顿出现以后我们的头脑对世界的看法发生了什么样的变化。“在十七世纪之前，世界就是树木、疾病、人类的心灵和行为，这样的世界既混乱又有机。天堂仍然是复杂的，行星的轨道显得任意而难解。从艺术的角度来想象一下当时世界的情形吧。尔后，十七世纪六十年代出现了牛顿。他设计了几条规律、设计了微分学，忽然间，行星看上去就是在简单而可以预测的轨道上运行了！”

“直到现在为止，牛顿对人们的心灵仍有无法想象的深远影响。”阿瑟说。“天堂，即上帝的住所，已经能够被我们解释了。我们不再需要天使来管东管西了，不再需要上帝来主宰一切了。所以，没有了上帝，这个世纪就变得更加世俗了。然而，当我们面对毒蛇、地震、风暴和瘟疫的时候，我们还是极其渴望知道是谁主宰了这一切。所以，在1680年至整个十八世纪的文艺复兴时期，人们的信仰转为对大自然至高无上的崇拜：如果你让事物顺其自然地发展，大自然会负责使一切事物的发展符合共同的利益。

阿瑟说，行星时钟般规律的运动成为十八世纪的比喻：简单的、有规律的、可预测的、能够自我运行的牛顿式的机器。这个后来主宰了两个半世纪的还原论科学变成了牛顿式物理学。“还原论科学会说：‘嘿，这个世界既复杂又混乱。但是你看，只要有这两三条规则就能把所有这一切还原成简单无比的系统！’”

阿瑟说：“所以，剩下的事就要指望亚当·斯密了。亚当·斯密在苏格兰文艺复兴巅峰期的爱丁堡发现了隐匿在经济背后的机制，于1776年出版了《国富论》(The Wealth of Nation)。他在该书中称，如果让人们自由地追求他们的个人利益，供求这只‘看不见的手’会负责让一切都朝着符合共同利益的方向发展。”很显然，这并非故事的全部。斯密自己也指出了像工人异化和剥削这类令人烦恼不已的问题。但他的牛顿式经济学观点之简洁、强大和正确，使其从此成为西方经济学思想的主导。“斯密的思想太伟大了，我们都为之倾倒。很久以前，经济

学家肯尼斯·波尔丁 (Kenneth Boulding) 曾经问我：‘你想在经济学领域做些什么？’当时我年轻气盛，毫不谦虚地回答说：‘我想把经济学推向二十世纪。’他看着我说：‘难道你不觉得你应该先把它推入十八世纪？’”

阿瑟说，他觉得所有的科学都不再天真，而二十世纪的经济学却较之落后了三十年。比如，这个世纪之初，像罗素、怀特海 (Whitehead)、弗雷基 (Frege) 维特根斯坦 (Wittgenstein) 这样的哲学家出来证明说，所有的数学都基于简单的逻辑。他们只说对了一部分。许多数学确实能基于简单的逻辑，但不是全部。在三十年代，数学家科特·歌德尔 (Kurt Godel) 表明，甚至某些非常简单的数学体系，比如像算术，都不完整。它们的系统中总是包括一些甚至在逻辑上都不能被证实真伪的陈述。逻辑学家爱伦·图灵在差不多同一时期（而且用的是同样的道理）表明，非常简单的计算机程序也会犹豫不决。你无法事先知道计算机是否会提供答案。到了六十年代和七十年代，物理学家也从混沌理论中得出了同样的结论：极其简单的等式能够产生令人吃惊的、不可预测的结果。阿瑟说，同样的道理在一个又一个的领域不断得到证实。“人们认识到，逻辑和哲学是混乱的、语言是混乱的、化学动力学是混乱的、物理学是混乱的、因此经济自然也是混乱的。这种混乱并不是显微镜下的尘土所造成的，而是这些系统本身所固有的。你无法抓住它们，把它们限制在一个洁净的逻辑之盒中。”

结果就爆发了复杂性科学的革命。阿瑟说：“从某种意义上来说，这场革命是针对还原论而来的。当有人说：‘嘿，我能从这个极其简单的系统入手，瞧，它产生了如此复杂而不可预测的结果’时，复杂性科学的革命就算开始了。”复杂性理论不是基于牛顿式机械化预测的比喻，它似乎更接近于一颗树从树种长成参天大树的比喻，或者好比一个计算机程序从几行编码展开，甚至或许是一群头脑简单的鸟儿，有机而自组。这当然是朗顿头脑中对人工生命的比喻。他的整个观点就是：复杂而类似生命的行为是几条简单的、由下而上的规则所导致的结果。这个比喻对阿瑟在桑塔费的经济学研究项目也产生了很大的影响。“如果说我对这个项目抱有目的，或自己的观点，那这个目的和观点就是，我想说明混乱而生机勃勃的经济源自于极其简单而优雅的理论。这就是为什么我们创建了这些简单的股市模型的原因。这些股市会变得很情绪化，会出现崩盘，或完全出乎预料地出现股市的暴涨，就像通晓某种人性。”

颇具讽刺意义的是，阿瑟当时虽然在桑塔费研究所，但几乎没有一点儿时间来关注朗顿的人工生命、混沌边缘的理论和假设的新的第二定律。经济学项目已经占据了他百分之一百一十的时间。但他听说了这些理论，觉得他们非常吸引人。对他来说，人工生命理论和其它这些理论是这个研究所的某种基本精神。阿瑟说：“马丁·海德格尔曾经说过，最基本的哲学问题就是存在。作为具有意识的实体，我们在做些什么？为什么宇宙不只是一团相互碰撞的混乱的粒子？为什么会有存在结构、形态和模式？为什么会有意识的存在？”在桑塔费研究所，很少有人像朗顿、考夫曼和法默那样直接探索存在这个问题。但阿瑟感到，每个人都在从不同的方向切入这个问题。

而且，阿瑟感到这些思想与他和他的同事们在经济学上致力于研究的问题有很强烈的共鸣。比如，当你透过朗顿的相变之镜来看这个问题时，新古典经济学理论突然就转化成了一种简洁的断言，即，经济深植于有序领域之中，市场永远是均衡的，事物如果有变化，也是变化缓慢。而桑塔费观点同样也转化成了一种简单的断言，即，经济存在于混沌的边缘，经济作用者不断地相互适应，事物总是处于不断的变化之中。阿瑟一直很明白哪一种断言更接近现实。

就像其他桑塔费成员一样，阿瑟一开始思考其中更为深广的意义就变得犹豫不决。这个学派的思想尚不成熟，显得不能自圆其说，让人听上去太容易想到这是什么新时代的玩艺儿。但就像桑塔费研究所的所有人一样，阿瑟无法不去思考其中更为深广的意义。

他说，你几乎可以从神学的角度来看待复杂性革命。“牛顿的机械化运动的比喻接近正统的新教，这个比喻认为宇宙基本上是井然有序的，我们并不是有赖于上帝来创造秩序。这样说有些偏向天主教了。这是说，上帝安排了世界，而只要我们循规蹈矩，秩序自然存在。如果我们每一个人都各行其责，追求我们各自的正当权益、努力工作。不打扰别人，那么这个世界会自然趋于均衡。那么我们就最大化地实现自己的利益，我们应得的利益。这样说也许不太神学化，但这是我对基督教的一种印象。”

“而另一种理论选择——复杂性的特点——则完全是道教的。在道教中，秩序不是天然固有的，‘世界从一开始，一变成二、进而变成许许多多，许许多多又导致无穷无尽。’在道教中，宇宙是广袤的、无定性的、永恒变化的。你无法

将其钉死。虽然其元素永远不变，但它们却永远在进行自我重组。所以这就像一个万花筒：世界的含义在于模型和变化，世上万事万物虽有重复之处，但却永远不可能一模一样地重复，世事永远新颖、永远不同。”

“我们和这个世界的关系是怎样的呢？我们是由和宇宙同样的元素所组成的。所以我们是这个既永不变化、又永恒变化的宇宙的一部分。如果你把自己想象成是一只逆流而上的船，那你就是在和自己开玩笑。其实你只是一只顺流而下的纸船的船长。如果你要逆流而行，那只会原地不动。另一方面，如果你很善于识辨流向，认识到你是其中的一部分，而水流总是永恒变化、永远趋于新的复杂性，那你很容易就能用你的篙，撑过一个又一个旋涡。”

“但这和经济与政治政策又有什么关系呢？从政策这个方面来说，这意味着观察、观察、再观察，偶尔把船篙放入河水中，做一些改进。这意味着，你力图看清现实的本来面貌，认识到，你置身的游戏始终在变化，因此你要弄清楚眼下的游戏规则。这意味着，你像一只鹰一样观察日本人，不再天真、不再向他们要求公正、不再坚持基于过时的游戏规则的正统理论，不再说：‘只要能够达到均衡，我们就能生活在富裕之都。’你只是在不断观察。当你发现能够采取有效行动时，就采取行动。”

阿瑟说，但请注意，这不是被动等待，也不是宿命。“这是一个运用自然的非线性动力系统的一个强有力的方法。你不浪费精力，将有限的力量用于最大化的效果。这正是越战时南越的方法和北越的方法的不同之处、维斯特莫兰德（Westmoreland）采取猛烈的炮火攻击，安装刺网和烧毁村庄的方法，而北越就像退落的潮水一样。但三天以后，他们又回来了，谁也不知道他们从何而来。这也是隐含在所有东方武术之后的规则：你不是去阻止你对手的进攻，而是让他们冲着你来，当他向你冲过来的时候看准机会给予他致命的一击。其思想就是观察、然后果断出击，正确把握时机。”

阿瑟不愿意深究这一观点对制定政策的意义。但他确实记得 1989 年秋天，在他离开桑塔费之前，马瑞·盖尔曼力劝他共同主持的一个小型研讨会。这个研讨会的目的是探讨如何将复杂性科学综合应用于一个地区的经济、环境价值和政策制定。比如像亚马逊河流域，因为建路、建农场，雨林正在以惊人的速度被砍伐。阿瑟在研讨会期间所做出的回答是，对雨林（或其他东西）制定政策应该从

三个层次上进行考虑。

第一个层次是常规的成本回报法：每一个特定行动的成本有多大、回报有多大、如何获得最大的投资回报？阿瑟说：“这种评价有一定的道理。他迫使你弄明白每一个替代方案的意义。当然，在研讨会上，有一些人对雨林的成本与回报问题争论不休。问题是，这个方法总的来说是假设所有问题都已经界定清楚了、各种选择方案也已明确、政治上也做了进退有略的安排，所以分析者的工作只是对各种方案做成本与利益的计算，就好像这个世界是一个铁路调车场：我们都行驶在同一条轨道上，但我们可以用调度开关来把火车引上其他轨道。”但不幸的是，对常规理论来说，现实世界总不是像我们所界定的那样，特别是在环境问题上。客观的成本收益分析往往是草率而武断的主观判断的结果，而对没人知道如何评估的事情给的就是零分。阿瑟说：“我在讨论中挖苦这类成本收益分析说，保存有斑点的猫头鹰的‘收益’，是要看有多少人来森林游玩，多少人能看到斑点猫头鹰，看到这些有斑点的猫头鹰对他们来说有什么好处，等等。这简直是天大的玩笑。这种环境的成本收益分析看起来好像是在大自然的橱窗前说：‘那好，我们要这个、这个、还有这个。’但我们自己不是局内人，我们不是其中的一部分。所以我对这一类的研究毫无兴趣。如果问大自然如何对人类有利，那就太专横、太傲慢了。”

第二层次的分析完全是制度和政治分析。阿瑟说：这是要弄明白谁干什么、为什么干这些。“比如说，一旦你开始做巴西森林的分析，你会发现各种角色：地主、落户者、牧场主、政治人物、乡村警察、道路建设者、土著人。他们不是对环境问题做决策的人，但他们都是这个庞杂而互动的垄断游戏中的主要角色，在很大程度上左右着环境。而且，政治体系并非某种游戏之外的事物，而是游戏的结果，各种联盟和派系都是由此而生的。”

阿瑟说，简而言之，你得把这个系统当作系统来看，就像一个乘在纸船上的道教徒会观察复杂而永恒变化的河流那样。当然，历史学家或政治家本能地就会这样来审时度势。最近，经济学方面有些精彩的研究也是从这个角度出发的。但在1989年的研讨会上，这个观点对许多经济学家来说似乎还是个新发现。“我在谈话中十分强调这个思想，”阿瑟说。“我告诉他们，如果你们真的想深入研究环境问题，就必须问自己这样的一些问题：这和谁有多大程度上的关联、会形成什

么样的联盟、形成什么样的基本情势。这样你也许会发现可能干预的突破点。”

阿瑟说：“所有这些都导向第三层次的分析。在这个层次上，我们可以看看两个不同的世界观是如何分析环境问题的。一个是我们从文艺复兴时期承袭至今的传统的均衡观点。这个观点认为人与自然的关系是二分的，在人与自然之间存在对人类最有利的均衡点。如果你相信这个观点，那你就是在讨论‘自然资源的最优化决策’，这是我从研讨会上最初的一个发言者那儿听到的词儿。”

“另一个观点就是复杂性的观点。这个观点认为，人与自然之间基本上是不可分的。我们是大自然的一部分。我们置身其中，在作用者与被作用者之间不存在区分，因为我们是这个相互锁定之网的一部分。如果我们人类采取对我们自己有利的行为，而不了解整个系统会如何对此做出调整，比如像砍伐雨林，那我们就会连带出一连串的事情，这些事情很可能会反过来以不同的模式迫使我们适应，比如像全球性的气候变化。”

“所以一旦你放弃二分法，那么问题就变了。你就不能谈论最优化的问题了，因为它变得毫无意义。这就好像家长要在与孩子的对立中找到最优化的行为方式一样。如果你把自己的家当一个家来看的话，就会感到这个观点很怪异。你只能谈共处和相互适应，怎样做对这个家庭最有利。”

“我所说的，对东方哲学来说基本上不是什么新鲜的东西。东方哲学一向把世界看作是一个复杂的整体。这个世界观无论在科学界、在文化界，还是在西方，都变得越来越重要了。人们的观念正在非常缓慢地从对自然的剥削，即，人类与自然的对立，转变为人与自然的共存。我们看世界的眼光开始摒弃幼稚，变得成熟起来。当我们了解了复杂系统，就是开始懂得我们是这个永恒变化、互相制约、非线性运动的万花筒般的世界的一部分。”

“所以问题是，你如何在这样的世界上采取行动。回答是，你要保持尽可能多的选择。你选择的是生存能力和可行的方案，而不是所谓的‘最优化’。许多人都会对此发问：‘这样你不就选择了较次的方案了吗？’不，你没有。因为利益最大化不再是一个界定得很清楚的定义了。你要做的是在前途未卜的世界上变得更强健、更有生存能力。而这反过来又会使你尽可能多地了解非线性关系和偶然因素的作用。你极其小心谨慎地观察这个世界，不期望目前的状况会永远不变。”

所以，在这一切中，桑塔费研究所扮演的是什么样的角色呢？阿瑟说，当然不会是另一个制定政策的智囊机构，虽然似乎总有人这样期望。不，桑塔费研究所的作用就是帮助我们观察这个永恒流动的河流，帮助我们理解我们目之所及。

“在真正的复杂系统中，不会存在一模一样的模式，但其中有些共同的主题却是可以辨认出来的。比如，你可以笼统地谈及历史上的‘革命’，虽然这个革命与那个革命也许全然不同。所以我们才要用比喻。其实，许多政策的制定不得不依赖于恰当的比喻。反过来说，糟糕的政策制定总是与不恰当的比喻有关。比如说，把反毒比喻成‘战争’，让人想象到枪炮和军事进攻，也许不太恰当。”

“所以，从这个观点来看，成立桑塔费研究所的目的，就是要让这样的研究所成为创造复杂性系统的比喻和词汇的地方。如果有人在计算机上做了一项非常精彩的研究，你就可以说：‘我们有了一个新的比喻。让我们把它称为混沌的边缘。’或随便什么。因此，桑塔费要做的是，在对复杂性系统做出充分研究之后，告诉有哪些可供观察的模型，有哪些比喻适用于永恒变化、不断发展的复杂性系统，而不是告诉有哪些比喻可以适用于机械运动。”

“因此我认为，聪明的做法，是让桑塔费研究所从事科学研究，”阿瑟说。

“把它变成一个出售政策的商店将是一个极大的错误。它会使桑塔费的意义贬值，最终使它走向反面。因为当前所缺乏的正是对复杂性系统运作机制的了解。这是今后五十年到一百年科学研究的主要任务。”

阿瑟说：“我觉得从事这类研究与个性有关。从事复杂性研究的都是些喜欢过程和模型的人，他们与习惯于静滞与有序的人正好相反。我知道，在我这一生中，只要碰到简单的规则产生出涌现而复杂的一片混沌时，我就会禁不住说：‘啊，这太棒了！’我觉得，有时其他人碰到这种现象会退缩回去。”

他说，大约在1980年的某段时间，当他仍在苦苦阐述自己对具有动力的、进化的经济学观点的时候，他碰巧读到遗传学家理查德·列文丁（Richard Lewontin）的一本书。他被其中的一段话所震撼了。列文丁说，有两种科学家。第一种科学家把世界基本上看作是均衡的。如果有某种不合时宜的力量在某一时刻将整个系统略微推离了均衡点，他们会感到，从通盘来说，这个系统仍然会回归到均衡点上来。列文丁把持这种观点的科学家叫作“柏拉图派”，因为柏拉图这位雅典哲学家曾声称，我们周遭这个混沌而不尽完善的世界不过是尽善尽美的

“原型”的各种影像而已。

而第二种类型的科学家则把世界看作一个流动和变化的过程,看作同种物质以无穷无尽的不同组合不断循环往复。列文丁把这些科学家称为“赫拉克利特派”(Heraclitians),因为赫拉克利特这位爱奥尼亚哲学家曾热烈而诗意地认定,这个世界处于流动的、不断变化的状态之中。比柏拉图几乎早一个世纪的赫氏因观察到“你踏入同一条河,但流过的却是不同的水流”而著称。他的这句话被柏拉图意解为:“一个人无法两次踏入同一条河流。”

阿瑟说:“列文丁的这些话对我是一个启迪。我终于对周遭的万事万物恍然大悟。心想,我们终于从牛顿的理论中醒悟过来了。”

苦行僧的粗布衣服

当布赖恩·阿瑟于落日的余晖中驱车返回时,桑塔费的赫拉克利特派主将正准备辞职隐退。尽管经济学研究项目取得了不可否认的成功,尽管桑塔费掀起了一场混沌边缘、人工生命等理论的知识热潮,但乔治·考温却非常清楚,桑塔费研究所的永久性基金还是等于零。都已经6年了,他实在是厌倦了经常要向人乞求运作经费,厌倦了为经济学项目会不会变成一只独控研究所的八百磅的大猩猩而担忧。说起这个八百磅的大猩猩,他还厌倦了不断要与马瑞·盖尔曼为桑塔费研究所的意义而进行意志的较量,包括对复杂性革命对人类创建一个永续的未来的意义这样的问题进行争论。考温感到疲惫不堪。他已经创建了桑塔费研究所,并已经使之投入运转,他希望能将有生之年投入到研究所的科研工作中去,投入到这个陌生的、新兴的复杂性科学的研究中去。所以,在1990年3月召开的桑塔费研究所的年度董事会上,考温呈交了自己的正式辞职报告。他告诉董事会成员们,他再给他们一年的时间,他们有一年的时间来选择一个接替他的人,而他则在这一年中尽力为研究所寻找到稳定的基金来源。但仅此而已。

他说:“我觉得该是换一个新人来执政研究所的时候了。年度董事会是在我七十岁生日刚过一周后召开的。我还很年轻的时候就对自己说过,到七十岁时我不会自以为事事缺我就办不成,我见过太多挡道的老家伙了。有许多人都有自己的思想,该是他们一展身手的时候了。”

桑塔费研究所的常客们并没有对考温的辞职报告感到大惊小怪。他最近看上去非常憔悴疲惫，大家都开始为他的健康担心。他的脾气也变得反复无常，经常前一天笑容可掬，第二天就变得暴怒而悲伤。他经常对人说，他 1984 年当这个研究所所长的时候就想申请辞职，之所以一直干到现在，是为年轻的接班人做铺垫。他早就不止一次地说他要辞职，又被劝留了下来。在 1989 年的董事会上，他就暗示该是他退位的时候了，并指定了一个为他寻找接班人的委员会。现在这个委员会不得不加快行动，真干实事了。

但这正是这个寻找接班人的委员会和所有人面临的问题。考温是构想成立这个研究所的第一人。他最早预见了复杂性科学，那是在其他人还都不知道该怎么称呼这门科学之前。在创建桑塔费研究所，使之成为使所有成员都感染上知识热情的家园上，他是贡献最大的人。就像朗顿所说的那样，只要看见考温坐在修道院院长的办公室里，不知为什么，你就会觉得一切顺利。没人知道还有谁能够做到这一点。

所以，如果考温卸任，谁来接替合适呢？

考温自己对此也茫然不知。但起码现在他还没空为此担忧。今后 12 个月的压力只会有增无减。“在我明智地从所长的位置上退下来之前，我希望获得今后三年基金的保证，这样我的接班人就不会一上台就穷得叮当响。”这意味着，目前他最紧迫、最首要的工作就是向国家科学委员会和能源部提交没完没了的申请基金报告。前三年这两个机构提供的共两百万美元的基金已于 1987 年兑现了，现在需要申请续延。如果不能获得续延，当这个研究所所长差不多就是名存实亡了。

但对考温来说，申请基金的报告所包括的远非基金本身。如果仅是钱的事，他的日子就好过得多了。桑塔费研究所本来也可以像许多大学的科学和工程系那样，坚持让科研人员自己去向各个提供研究资金的机构去申请资金。这不会太困难，桑塔费研究所有的是既聪明又有经验的学术界人物，他们一辈子都是从基金会筹措资金的。但考温知道，这样一来，桑塔费研究所最终会断送自己的最大特色。

考温说：“对我来说，至关重要的问题是创建一个新型的科学社团。这个社团或多或少要具有某种普遍的意义，能够涵盖硬科学、数学和社会科学等各个方

面。我们一开始就邀请了最优秀的人物，这些人因共同的品位而产生了奇迹。我们按预想将不同学科最优秀的人物聚集在一起，这样就不可避免地产生了知识的大融合。我认为我们创建的这个科学社团无论在知识广度上，还是在质量上都是超群拔类的，我还从未见过历史上任何一个科学机构聚集过如此杰出的一群人。我寄希望于他们，努力促成他们产生研究成果。”

“但如果我们的资金来源是东拼西凑的，我们的力量马上就会支离破碎。”可事实上，各基金机构一般都是就某被认可的科学领域的某项专门的研究课题向研究人员个人提供研究资金。这个做法正好与桑塔费的做法背道而驰。“你看，当某个人申请某项研究基金时，他就要花大量的时间来提出申请，然后获得五万或十万美元的资助，他就变成了拥有这笔资助的老板，如果你想办法来控制他的自主权，你就犯了莫大的罪。”所以尽管你有最好的愿望，甚至尽管所有的人都极力想使自己保持宽松的学术态度、顾及社团的利益和研究的氛围、重视学科交叉，但每个人都不可避免地会把时间越来越多地花费在自己的研究课题上，越来越少地关注相互之间的交流。“失去了中央协调，你就又回到过去的学术老路上了。”

当然，在实际操作上，桑塔费研究所总是不会放过争取专项研究经费的。在目前的资金状况下，研究所无法超越现实，完全坚持自己的原则。确实，花旗银行对经济学研究课题的资助就是申请专项课题研究资金的最大实例。考温为了扭转这股离心力，迫切需要获得他所谓的“保护伞经费”：一笔能够资助所有在复杂性方面有很好构想的人的钱，无论其构想是否是在早已界定明确的常规学科领域之中。比如可以用来资助朗顿、荷兰德或考夫曼的研究构想。考温说：“如果你想保持复杂性研究的完整统一，那你就必须创造一个让其统一性能够自下而上地涌现出来的社团，而不是由你告诉人们该怎么做。保护伞经费就是实现这个目标的一个基本条件。”

这就是为什么他首先想向国家科学委员会和能源部申请资助的原因。除非是天使降临，带给他们一大笔资金，否则这两个机构是唯一有希望提供保护伞经费，不使桑塔费的研究落入各自为政的局面的地方。这也是为什么考温感到获得这两个机构资助的续延至关重要的原因。如果这个保护伞折闭了，那阿瑟、考夫曼、荷兰德等人开创的令人无比激动的创造精神很快就会串味变质。

所以考温和他的执行副所长迈克·西蒙以及科学委员会的其他成员那年春天耗费了大量时间来撰写资金申请报告。他们都知道,这份报告必须极具说服力才行。1987年他们申请第一笔资金时,要说服这两个机构资助桑塔费就非常艰巨困难。当时桑塔费研究所极力证明他们聚集了一流的人才,有一个非常好的构想。而申请第二笔经费远比申请第一笔经费要困难得多。他们的目标是要让国家科学基金会和能源部的投资合起来提高十倍,从三年拨款二百万美元,提高到五年拨款两千万美元。而且,他们的这份资金申请报告提交得也不是时候,联邦科研预算目前正在大幅度紧缩,常规学科领域的科研人员都在为获得科研经费而进行比以往更为激烈的竞争。他们已经听说国家科学委员会和能源部的中世纪式的管理人员正在犯嘀咕说,现在正儿八经的科研项目资金还严重短缺,我们为什么要把钱投到桑塔费这个冒险的跨学科研究项目上去呢。

考温、西蒙和研究所的其他人显然不能对他们是否能获胜打十分的保票。他们必须拿出足够的证据来表明,在过去的三年中,他们的研究已结硕果。在今后五年中,他们有能力使自己的研究成果值得这两千万美元的投资。当然,这很微妙,因为他们无法坦然宣称他们已经解开了复杂性的整个谜团,他们只不过刚开了一个头。但他们能够、也确实宣称过的是,在三年之中创建一个可运作的研究所,专门从事对复杂性问题的研究。他们写道,正如他们在1987年的资金申请报告中所承诺的那样,桑塔费研究所“已经开拓了一个综合性研究项目,是一个富于创意的管理体系,聚集了一群极具资历的顶尖研究人员,开始形成对复杂性研究的大量的整体需求的支持。”

考温和西蒙可以为他们在资金申请报告上的说法提供强有力的事实证明。他们指出,在三年时间里,桑塔费研究所资助了共有七百余人参加的三十六个跨学科研讨会,接纳了一百多个访问研究员,这些访问研究员在科学杂志上发表了六十余篇有关复杂性科学的论文。研究所还举办了年度性的复杂系统暑期学校,一次性地对一百五十多位科学家开设了为期一个月的课程,讲授应用于复杂性科学研究方面的数学和计算机技术。研究所还以“桑塔费研究所复杂性科学”为名出版了系列论文集。在撰写这份资金申请报告时,研究所正在和几家大学出版社商谈出版有关复杂性科学研究期刊的事宜。

考温和西蒙写道,谈及复杂性研究本身,“尤为值得注意。研究所对自己的

研究项目的支持有增无减。其支持的方式再也不是未经检验的尝试了。桑塔费研究所支持了许多杰出人才的研究,包括对才华横溢的研究生和诺贝尔奖得主的支持,以及对企业高级主管和声名显赫的政府官员的研究的支持。桑塔费的研究队伍、其项目之间的相互支持和所形成的网络,包容了迄今为止最为广泛的学科领域和最为重大的研究成果。”

他们还可以用一串长长的具体的研究成果来支持他们的资金申请。事实上,资金申请报告的大部分内容都是对从人工生命到经济学项目研究成果的阐述。考温和西蒙对经济学研究的评价是:“它是桑塔费研究所最成熟的研究项目,在实质内容上和组织形式上都可以作为其它研究所致力效仿的典范。”

当然,就像通常比较幸福美满的家庭都会将最好的一面展露给外界一样,桑塔费在其经费申请报告中也隐瞒了一些内情,比如经济学项目令他头痛不已的方面。

其中一部分的原因仍是资金这个老问题:考温在表现不怎么慈善宽厚的时候,会觉得经济学家们是想让研究所来替他们筹措所有的资金,供他们尽情享受。即使在他不那么暴躁的时候,他也痛感经济学项目在学术上的成就远远大于在资金上的成功。花旗银行很满意经济学项目的进展,已经续延了每年对该项目十二万五千美元的资助,但这根本不够支付该项目的全部开支。阿瑟为从罗塞尔、塞吉、史龙和麦伦等较大的基金会争取资助的努力也全部失败了。残酷的现实摆在那里:就是主流经济学的研究经费都严重不足,遑论资助桑塔费这个冒险的项目了。

考温说:“在美国,对经济学研究的资助本来就少得可怜。虽然经济学家们的薪水都很高,但他们的基础研究却得不到资助。通常是企业资助经济学家从事非常实际的研究,而国家科学基金会和其它政府机构向经济学提供的资助却非常少。这是因为经济学是一门社会科学,而政府对社会科学从不提供大笔资助。这有点‘计划’供给的味道,计划不是个好词儿。”结果,许多经济学家都把眼睛盯向桑塔费研究所,仿佛桑塔费是另一所资助机构,但经济学家自己却不能为研究所提供太多资金上的支持。所以研究所就不得不用相当大一部分的联邦政府资金来为经济学项目弥补花旗银行捐助的不足部分。而这笔钱本来考温是想用在别的研究项目上的。

但最大的问题是，阿瑟 1989 年底就要离开了，肯·阿罗已经在寻找一位第一流的经济学家来接替他的项目主任一职。考温说：“我们一年一年地在维持着，无法对下一年做出预算。但你想吸引那些能够在任何地方做任何事的大腕来这里做研究，你就必须向他们承诺说，有足够的资金来保障他们的研究。虽然从经济学项目一开始，桑塔费研究所就前途未卜，但一两年之后，这个印象似乎就不那么明显了。研究所看上去开始显得比真实的情况要稳定得多。我们想邀请的人开始把我们当作斯坦福或耶鲁大学了。而且，既然这里没有终身教职可言，那么我们不是让他们扫兴，就是得假装他们的想法完全正确，尽力为他们争取研究基金。这是完全不同的一种压力。这场游戏的实质发生了变化。”

但真正使考温焦虑的仍然不是资金本身的问题，而是桑塔费社团的脆弱性。经济学项目的巨大成就使桑塔费研究所存在变成全日制的经济研究所的危险，而这与桑塔费研究所的初衷是背道而驰的。考温说：“创建一个没有科系界限的研究所，然后又只是从事一个学科的研究，这是自相矛盾的。那还不如一开始就创建一个科系。我们必须有一个开始，但同时我们从一开始就要确保不使经济学项目成为研究所唯一的兴奋点。”

不足为奇，考温和阿瑟之间为经济学项目的经费和该项目的研究速度已经发生过多处争执。考温说：“在科学委员会里，布赖恩（阿瑟）站在经济学家的共同立场上，认为经济学项目取得了很大的成就，因此只要经济学项目仍在顺利进展，研究所就不应该为任何别的研究项目而转移对经济学项目的支持。研究所不应放弃把宝押在一匹能够赢的马上。现在布赖恩成了这派观点的热衷维护者。这当然很好。但这个研究所的整个哲学思想是，复杂性系统包括许多方面，其中有神经行为、人类行为、社会行为、以及其它许多经济学不会专门来对付的方面。所以我力主支持至少一个能在规模上与经济学项目匹敌的其它研究项目。我们需要拓展我们的学术计划，分散我们的赌注。尽管对此有很多讨论，但科学委员会还是很支持这个基本思想。”

在考温的头脑中，能与经济学研究项目匹敌的是“适应性计算”：即，研究开发出一组能够应用于包括经济学在内的复杂性科学各个方面的数学和计算机工具。他说：“如果我们有一个共同的概念性构架，就应该有一个共同的用于分析的构架。”他补充说，开始这样一个研究课题，其实就是从一方面理清我们

现在已有的成就，然后给复杂性研究的各个方面提供更为广泛的支持。荷兰德的基因算法和分类者系统早就渗透到研究所的各项研究中来了，也许会成为适应性计算的支柱性概念。但考夫曼的布林网络(Boolean networks)和自动催化组、朗顿的人工生命、阿瑟和经济学家们建立的各种玻璃房经济模型也提供了相似的概念。一个富有生命力的交互施肥正在进行。法默在他的《关联主义的罗塞达碑》一文中指出，神经网络、免疫系统、自动催化组和分类者系统基本上都具有共同的潜在主题。确实，当迈克·西蒙和考温在1989年的一天坐在考温的办公室里考虑取个什么名字才能涵盖所有这些概念时，西蒙创造出了“适应性计算”这个词。这个词不像“人工生命”那样具有知识的负载。

考温说，所以，在某种层次上，适应性计算项目能够给予这方面的研究热情以正式的认可和协调，更别说还能从事这些方面研究的研究生、访问科学家和研讨会争取更多的研究经费。但从长远来说，他还希望这个研究项目能够使经济学家、社会学家、政治学家、甚至历史学家的研究具有精确度和严谨性，就像牛顿发明微分时给物理学带来的影响一样。“我们仍在等待，也许还要等待十年或十五年，但我们所等待的是一组真正丰富的、充满活力的普遍性算法，它能够被作为一种方法，对复杂的适应性作用者的相互作用做出定量分析。目前，在社会科学方面的辩论方式是，双方对问题各执一词，都强调自己的观点是最重要的。

‘我的观点比你的更重要，因为我可以证明财政政策比金融政策更重要。’等等。但其实你无法证明这一点，因为说来说去最终都只是语言，而计算机模拟则能够提供一种明确界定的参数和变量，这样人们起码可以针对一个共同的话题。计算机可以让你处理各种变量。所以如果一个计算机模拟包括了财政政策和金融政策，那么你就能陈述为什么一种政策结果比另一种政策要重要，其结果也许是正确的。或也许是错误的。但这是一个更规范的争辩。就算计算机模型是错的，他们也能充分利用这个模型来规范这种争论。”

但不管计算机模拟是否有这么成功，开展适应性计算研究项目的研究无疑能够带来一个大家欢迎的副作用：它能让考温和研究所找到借口把荷兰德从密西根大学拽出来，成为研究所的全职研究员。荷兰德不仅是这个课题的项目主任一职自然而一致的人选，而且同时他还是个精力充沛、点子不断的人，大家喜欢有他在研究所。

考温和西蒙在资金申请报告中用十页的篇幅阐述了适应性计算项目，其中大部分是由荷兰德自己撰写的。然后，他们就于 1990 年 7 月 13 日把这整整一百五十页的资金申请报告寄往华盛顿。在这之后，他们所能做的就剩下等待，祈祷自己交上好运，希望报告审阅人能够慈悲为怀。

然而，在桑塔费研究所聘请荷兰德这件事上却不无讽刺意味。在桑塔费研究所刚成立的时候，考温和其他创始人就十分希望能够聘请长期研究人员，使研究所变成一个像纽约的洛克费尔大学这样全面的研究机构。但财政现状阻碍了这一点的实现。到 1990 年，考温、西蒙和相当一部分桑塔费的常客都开始觉得，这个局限起码有一大好处：不聘请长期研究员起码能使研究所在经济上处境好得多。

“这个好处在于，比起聘用常年研究人员来，我们的体制更为灵活。”考温说。他意识到，毕竟，一旦你聘用了一群全日制研究人员，你的研究项目就会相当局限在一个具体的领域，除非这些人离开或去世。所以，为什么不让研究所一直扮演催化合媒者的角色呢？迄今为止，这个方法的效果非常好。不断更换访问学者，让他们在桑塔费住一段日子，参与知识的大融合，然后再回到自己所属的大学去。他们不但会与桑塔费研究所保持长久的联系，而且同时会在自己的同事中播下革命的火种。

尽管这话言之有理，但大家却都非常希望对荷兰德是一个例外。而且最棒的是，一笔专项支持他的研究的经费已经有了着落。伦敦的罗伯特·马克斯韦尔(Robert Maxwell)，前捷克反政府斗士、靠自我奋斗而成功的报界亿万巨贾，居然对复杂性科学产生了奇特的热情，表示愿意提供资助。

当然，现在回想起来，马克斯韦尔于 1990 年末神秘地溺水而亡，他的报业王国因巨额负债而随之倒闭。但当时，他看上去就像一个神话故事中的教母一样。桑塔费研究所与马克斯韦尔的接触始于一年以前。当时马瑞·盖尔曼碰巧碰到马克斯韦尔的女儿克里斯琴·马克斯韦尔。克里斯琴于 1989 年 5 月安排盖尔曼和她父亲共进午餐。当盖尔曼向考温报告说，老马克斯韦尔对研究所的研究颇有兴趣时，桑塔费研究所的人马就开始投入向他申请资助的行动了，谁都不知道马克斯韦尔到底有多少财产，但肯定有几十个亿。

1990 年 2 月，在通过许多次电话和传真以后，终于接到了伦敦发来的一份

传真。这份传真敲定了两点：第一，马克斯韦尔说，他希望开始与桑塔费研究所进行合作，条件是每年为适应性复杂系统研究提供十万美元的资助。第二，他喜欢研究所创立复杂性这个新科学的期刊的主意，对用他下属的普格蒙出版社（Pergamon Press）来出版这个期刊表示兴趣。

希望开始与研究所进行合作！？考温和西蒙对这几个词斟酌了好一会儿，最后考温决定冒险下这个赌注。“我想向他要更多的钱。”他在回信中寄上了一份研究所期刊委员会工作草案，列出了他们关于创办这份期刊的想法，同时提出出版商在研究所建立一个“罗伯特·马克斯韦尔教授”席位，每年提供三十万美元的资助。考温解释说，这笔钱不仅仅只是马克斯韦尔教授一职的年薪，而且要包括雇用博士后和研究生的费用、差旅费、秘书费和其他等项费用。

伦敦的答复耽搁了一段时间。就像考温和西蒙早就听说的那样，马克斯韦尔什么也没表示。他们能做的就是不断通过传真来提醒他答复这件事，同时也用信件和电话与盖尔曼、克里斯琴和她的兄弟们保持联系。马克斯韦尔的答复，“原则上同意”，终于赶在1990年3月研究所董事会召开前夕传递过来了。董事会正式决定向荷兰德提供为期五年的马克斯韦尔教授职位。

在密西根，荷兰德利用桑塔费研究所给他的这个机会与校方讨价还价。当时他仍然对计算机与通讯科学系并入工程学院而耿耿于怀，他对这种短视的、以应用为导向的盛行风气深恶痛绝，因此早已开始脚踏两只船了。几年以前，加州大学洛杉矶分校就暗示要给他终身教职，所以荷兰德就施展了从不为人所知的手腕。他立即就去找了大学教务长，提出：“要我在这个大学工作下去，至少要允许我在心理学系兼职。”他以前撰写《归纳法》这本书的时候就和这个在全国都排名靠前的心理学系有了广泛的接触。教务长艾蒂·戈尔登博哥（Edie Goldenberg）既同情他的处境、又急于想把他留在密西根大学，所以对他做了妥善的安排。

现在他拿着桑塔费的邀请又去找戈尔登博哥了。他对她说：“从研究的角度上来说，这个马克斯韦尔教授的席位对我来说是非常理想的。我很想接受这个邀请，除非我在密西根大学能用更多的时间来从事研究。”戈尔登博哥再一次对他言听计从。她为他找来了经费，做出了安排，还帮助他做出了替代方案。荷兰德将被心理系聘为全职教授，同时减轻他的教学任务，增加他的科研时间。作为回

报,他将在桑塔费研究所和密西根大学之间建立长久的关系,密西根大学的教授、博士后和研究生将可以经常到桑塔费从事研究,这两个学术机构将经常联合举行学术会议。这就等于把冰天雪地的安·阿泊变成了桑塔费研究所的前哨。

合作关系于1990年夏天正式建立。为庆祝桑塔费前哨的成立,荷兰德于1990年秋季组织了为期两周的研讨会,以阿瑟·斯坦福大学的马克·菲尔德曼和盖尔曼打头阵的特别讨论会揭开序幕。荷兰德和所有人都感到非常愉快。荷兰德说:“达德斯塔特校长(James Duderstadt)亲临揭幕式讨论会,而且自始至终参加了讨论会!甚至还做了笔记。讨论会非常有趣,所有的人都非常愉快。”从那以后一直到现在。除了偶尔去桑塔费或出席各种学术会议之外,荷兰德大部分时间都呆在他家中的书房里,与他的苹果二型机作伴。他的家是一座独特的山顶大别墅,俯瞰着安·阿泊西边的涛涛山林。最近他甚至开始认真谈起要从大学退休下来,这样他就有更多的时间从事研究了。他说:“生命是有限的。我年事已高(六十三岁),而我的档卷里还有许多新的想法来不及研究……”

在桑塔费,考温听说荷兰德不接受这个教授职位的邀请,感到很遗憾。但他不得不承认,荷兰德施巧计使自己摆脱了糟糕的现状,确实令他大为赞叹。使他更赞叹不已的是,荷兰德用工作为赌注来维护桑塔费与密西根大学的联系,也是非常取悦于桑塔费研究所的事,而且这件事不是因为荷兰德就不会实现。

但同时,考温不得不对付马克斯韦尔。1990年初夏,他和西蒙不断给伦敦发传真,非常礼貌地提醒马克斯韦尔不要忘了汇这笔款予。1990年8月,马克斯韦尔的一张十五万美元的个人支票,即第一年的第一笔拨款,终于汇到了。直到这时他们才告诉马克斯韦尔,荷兰德不接受这个邀请。马克斯韦尔回问说:“你们认为我亲自去密西根大学说服他会起作用吗?”

嗯,不用了吧。桑塔费能够采取一个折衷的办法:从1990年秋季开始的这个学期,由荷兰德和盖尔曼分享这笔经费。具体地说,由荷兰德负责这个新的适应性计算项目的基础性工作。到1991年度,他们俩的位置就由斯图尔特·考夫曼和戴维·潘恩斯来接替。同时,桑塔费研究所将利用自己的灵活性来邀请最优秀的年轻人,比如像塞瑟·劳爱德(Seth Lloyd)、詹姆士·克鲁奇费尔德和艾尔弗莱德·赫伯尔(Alfred Hubler)。

马克斯韦尔回传真说,他乐意接受这个方案。同时,所有人都同意通过马克

斯韦尔的普格蒙出版社来出版新的复杂性科学期刊。考温和马克斯韦尔通过越洋电话就其中的具体事宜做了长谈。但不久马克斯韦尔就突然决定出卖普格蒙，腾出资金来另做他图。1991年2月底，在连续不断的越洋传真催促之下，马克斯韦尔甚至还记得将该年度的第二笔资助共15万美元汇了过来。

1990年的整个夏天和秋天，只要一提及考温的接班人这个话题，马瑞·盖尔曼就会叹口气，用迫不得已的语气说：“我猜我不得不接手了。”

可以理解，盖尔曼当然不想当桑塔费研究所的所长。他讨厌繁重的行政工作。他这一辈子都在拒绝这类的工作。比如说，他拒绝了加州理工学院物理、数学和天文学系主任的差使。但桑塔费研究所和复杂性科学太重要了，还有谁比他更清楚地知道需要做什么呢？还有谁能比他更清晰地阐述过复杂性科学呢？还有谁有比他更大的荣誉和更广泛的社会关系来使桑塔费研究所具有必须有的影响呢？

确实，还有谁能做到这一切呢？研究所寻找所长接班人委员会的工作立刻陷入瘫痪。谁都不傻：盖尔曼想当桑塔费研究所所长。问题是，他们是否敢让他当这个所长。有些人感到他们可以认真考虑这个可能性。他们说，盖尔曼毕竟是科学史上的一个人物，是诺贝尔奖得主。如果他想当这个所长，那为什么不让他试试呢？

其他对他更了解的人想到马瑞·盖尔曼当所长都吓坏了。谁都不怀疑他的才识、他的精力和他筹措资金的本事。他总是无穷无尽地提出各种有趣的、值得研究的科学问题。他在把各路顶尖人物聚集一处这一点上确实能力超群。没有他，桑塔费研究所就不会发展到今天这个样子。但让他当所长？他们立即就想到他的办公桌上像地质层般堆积了没有审阅过的文件，他从不给人回电话，却跑出去救护雨林。更糟糕的是，他们觉得如果他当了所长，桑塔费研究所就会变成“盖尔曼研究所”。

一个认识盖尔曼的物理学家说：“马瑞对生活是最抱知识分子观念的。”他的谈话和他生活中的一切都是受他知识关怀的驱动。他十分关注桑塔费研究所的知识性议题，他总是瞄准着他希望前进的方向。他对此深有所思，希望确保所有的人都朝这个方向努力。

“他这样做既有利也有弊。我认为，其利处是，桑塔费研究所需要有马瑞这

样一个强有力的知识分子来推动我们的研究朝富有成效的方向发展。但弊端是，只要有马瑞在，别的人就很难插嘴。一旦他分析了一个问题，他就认为这个问题已经被透彻地分析过了。如果有人不同意他的观点，他就会觉得人家没听进他的话，或者是没听明白他的话。如果他不是把别人的意见忽略不计，那就是更加清晰地重申自己的意见。所以，他总是以他的知识能力和个性力量压制其他人的意见。一个有目共睹的危险是，桑塔费研究所会成为盖尔曼个人热情的载体。”

这当然也是考温看到的危险。公平地说，考温也听到盖尔曼谈及研究所需要多样性、需要容纳多种观点。但他仍然认为，如果盖尔曼当了所长，他就会破坏研究所不拘一格的自由学术气氛和多元性。尽管他并不是有意要这么做，但所有真正的思想者都会明智地离去。考温说：“马瑞总是认为他的观点是唯一可能的观点，总是要改变别人的观点。”

考温这么认为自有他的道理。自研究所成立以来，他就一直在和盖尔曼做斗争。当然，他尽力控制不要让他们之间的争论恶化。考温深深感到他和研究所有多么需要盖尔曼，他感到常常不得不向盖尔曼让步，许多人都疑惑他这样做是否是因为被盖尔曼的诺贝尔奖给吓住了，但有时考温也会感到忍无可忍。

比如，他们对什么是研究所最合适的研究课题一直争论不休。盖尔曼说：“我认为桑塔费研究所的主题应该是对简单性与复杂性的研究。对我来说，宇宙的简单规律及其概率特点、信息的本质和量子力学，这些是我们所研究的主题的基础。在桑塔费，我们已经对信息和宇宙做过两次讨论了。在早期，我们还成功地举办了一个研讨会，用对数学、宇宙学和粒子物理的总观看法来探讨超弦。但研究所反对研究超弦，对此施加了很大的压力，我们从此再也没有研究过超弦。研究所所长乔治·考温非常不喜欢研究这些。我不知道这是为什么。”

其实，考温并不是讨厌研究超弦。所谓超弦理论，即假设的“万有理论”，旨在把所有基本粒子描述成微乎其微的、纯能量的、剧烈振动的弦，是非常精彩的理论。只是有许多地方、许多人都在研究超弦，人们在那些地方可以尽情地研究超弦、夸克和宇宙。他认为桑塔费研究所没有时间和资金来做这种重复性的研究。（考温并不是唯一这么认为的人。科学委员会的大多数人对超弦研讨会的看法都是：“再也不举办超弦研讨会了。”）但对考温来说，真正令他恼火的是，盖尔曼的“简单性”听起来像是以伪装出现的还原论。他发现盖尔曼显然喜欢拒绝

任何他个人不感兴趣的研究，比如像化学或固态物理学。（他当着菲尔·安德森的面把固态物理学贬为“污态物理学”，显然是故意要激怒安德森。）考温说，也许盖尔曼这么做只是为了好玩，但其中尚未完全揭开面纱的内容是：盖尔曼认为，桑塔费研究所对集体行为的研究是实用主义的和混乱不堪的，因而是非“知识性”的。

对局外人来说，考温对盖尔曼的简单性概念的怒气听上去有点像中世纪时对神学要旨的神秘争辩。但考温和盖尔曼却为此争论得怒不可遏，这种争论经常会引向别的话题，也会导致其中一人猛然摔下电话。考温尤为清楚地记得 1987 年的一次争论。那是一次私人聚会，当时有五、六个桑塔费的主要人物围坐在餐桌旁，讨论应该如何形容桑塔费研究所。考温说：“每当我们说我们感兴趣的是复杂性科学，马瑞就会补充说，‘还有构成复杂性科学的基本原则。’他指的是夸克。他话中的含义是，社会组织是由众多的夸克组成的。你可以通过对夸克的研究，理解夸克的各种聚合物。”

考温说：“我把这称为理论物理的宗教，这是对对称性和全面还原论的信仰。我不认为我们有任何理由来遵从这个观点。所以我就说，我们不打算研究夸克。”考温认为，涌现的、复杂的系统代表了某种新的、基本的概念，我们需要用这种概念来了解物质超越其基本作用力法则的宏观行为。考温的观点得到了在场的大多数人的支持。

“马瑞直截了当地说，他绝不认同。嗯，这是我第一次认识到，马瑞想强调他自己想怎么做，然后希望其他人能按照他的思路去做。我觉得他这也太自我中心了，所以大发脾气。”

确实，当时考温在盛怒之下，拿起桌子上的文件说：“我不干了。”就走出了房间、奈普和卡罗瑟斯赶紧追出门去，大叫：“乔治，回来！”

他最终还是回来了。但那次事件以后，盖尔曼几乎再不提“简单性”这个词了。

但考温对简单性的恼怒，与他对研究所的“全球持续性”项目的恼怒比起来，就算不得什么了。起初，这是考温的项目，这个项目稍稍反映了他对人类在地球上的生存前景的深切关注。但他当时并没有把这个项目称为“持续性”。他最初的概念是“全球稳定”或“全球安全”。1988 年 12 月，他以“全球安全”为名

组办了首届小型研讨会。考温说：“起初研究讨论的像是某种国家安全，但很快讨论的内容就大大扩展了，扩展到今后一百年中我们怎么避免‘A级’灾难，生存下去？即某种一代人都解决不了的难题。”在混沌边缘的术语中，避免这样的灾难意味着要寻找到某种阻止巨大的毁灭性崩落的方法。“起初，我把核战争列为最大的A级灾难，把第二次世界大战列为次等的B级灾难。但到我们召开这次研讨会时，美苏两国恢复了友好关系，这类的核战争问题在我的灾难排名上落到了第五位。人口爆炸问题，即厄里奇式的灾难，继之上升到首位，排名第二的是可能的环境灾难，比如像温室升温效应。对此我个人倒并不认为是A级灾难，但其他人认为是。”

对此的讨论有一阵子是低调的，主要是因为考温无论有没有空都坚持自己组织小型会议。但后来盖尔曼也开始对此发生了兴趣。用全球性的、整合的观点来看待人类的长久生存性这个想法正好和他产生了强烈的共鸣。毕竟，盖尔曼的科学入门就是起自他五岁时在中央公园的大自然中的那次散步。他最为关注的是对全球环境的保护，特别是雨林生物的多样化。所以他就介入了这个项目，非要把考温的全球稳定研究项目推向他希望的方向。到1990年的时候，他已经成功地修改了这个研究项目的议题，把它变成了他的项目。

他主持这个项目比考温要激进得多了。盖尔曼不只是对避免灾难感兴趣，而且还要获得全球“持续性”状态，无论这个词有多么模棱两可。

在1990年5月的桑塔费研讨会上——那时盖尔曼已经和考温共同主持这个项目了——盖尔曼指出，近来“持续性”实际上已经变成了时髦的胡言和没完没了的老生常谈。对大多数人来说，这似乎意味着一切正常。但一切正常正是问题所在。在迈克阿瑟基金会主任盖尔曼的协助下创立的环境智囊库，华盛顿世界资源研究所，创始人兼所长格斯·斯佩特(Gus Speth)和该所的其他人都认为，只有人类社会在几十年之内经历起码六大根本转变，全球的永久持续性才有可能实现：

- 1、在人口统计上，过渡到大致稳定的全球人口。
- 2、在技术上，过渡到人均对环境的最小影响。
- 3、在经济上，过渡到能够对商品和服务实行真正的成本兑付，包括对环境成本的计算，这样，人们对世界经济发展的积极性就会基于脱离对大自然的盘剥，

而不是基于对大自然的消耗。

4、在社会组织上，人们要过渡到能够共同承担对大自然的损耗，同时增加世界上穷人的非破坏性就业机会。

5. 在机构上，过渡到建立有利于全球共同解决全球性问题的超国界联盟，并允许各国政策之间的相互交融。

6. 在信息传递上，我们的科学研究、教育和全球监控要能使大多数人懂得我们现在面临的挑战的本质。

当然，其诀窍在于从现在的此岸到达未来的彼岸，避开考温的 A 级全球性灾难。盖尔曼说，如果我们想要做到这些，那么对复杂的适应性系统的研究显然就是至关重要的。对这六大基本转变的认识意味着对相互牵制、相互依存的经济、社会和政治力量的理解。你不能像过去一样仅仅只从单个问题出发，就希望能对整个系统的行为做出描述。唯一的办法就是把这个世界当作一个相互紧密关联的系统来看，即使目前的计算机模型尚原始粗糙。

盖尔曼说，更重要的是，要从现在的此岸到达未来的彼岸，就要确保未来的彼岸是一个值得生存的世界。一个永久持续的人类社会很容易变成控制严酷、毫不宽容、失去人生自由的奥威尔式的可怖的社会。未来社会应该是一个有很强的适应性、很强健、对灾难有灵活的应付能力的社会，一个可以从错误中吸取经验教训的社会，一个不死板僵化、能够不断改善人类生活的质量、而不是数量的社会。

他说，要达到这个目的显然是一场逆流而上的奋战。在西方，知识分子和管理者们总是非常理性，他们看到的是会导致不利后果的事情，总是寻找能够防止这些不利后果发生的技术手段。所以我们才会有避孕措施和军备限制等等。这些手段和方法当然很重要，但真正的解决方案所要求的要比这多得多。真正的解决方案有赖于我们克制、升华和转变我们的传统欲望，比如像要超越和战胜我们的对手，特别是他族的对手的欲望。这些冲动也许曾经是可以调整过来的。但现在确实已经在我们头脑中扎下了根。可我们再也不能容忍这种冲动存在了。

盖尔曼说，这里还有一个关键的问题。一方面，人类受到迷信、神话故事的威胁，顽固地拒绝认识这个星球的紧迫问题，坚持各种形式的部落制思维方式。所以，要实现这六大根本性转变，就必须就原则性问题达成某种广泛的共识和对

地球未来的理性看法，当然更要做到在全球范围内更加理性地管理我们自己。

但另一方面，“如何宽容和维护文化的多样性？”盖尔曼问。这不是政治上是否正确的事，而是不可回避的现实存在。文化是不会被法令所连根拔除的。看看伊朗国王想全盘西化伊朗而引起的强烈反抗就知道了。这个世界如果不能容忍多元化文化的存在，就会完全失控。而且，文化的多元性对于一个永久持续的世界，就像基因的多样性对于生物一样重要。盖尔曼说，我们需要跨文化的大融合。

“尤为重要的是，我们需要发现为什么我们的文化对物质的需要超过了对精神的需要。”从长远来说，要解决物质和精神这个两难的问题，不但需要敏锐的感觉，更需要行为科学研究有新的突破和更深刻的发展。治愈每个人的精神疾病并非易事，治愈社会痼疾也并非易事。

盖尔曼说，当然，研究这类多面的、相互深刻关联的系统正是桑塔费研究所成立的目的。但他认为，这个研究所的规模太小了，无法独自承担对全球持续问题的研究，需要有像世界资源研究所、布鲁金斯研究所和迈克阿瑟基金会的共同参与（实际上迈克阿瑟基金会已经是该项目的资助机构之一了）。盖尔曼说，应该由这些机构来承担政策方面的研究，而桑塔费研究所则从事基础理论方面的研究，这样他们就可以起步，将持续性问题作为一个整体来研究了。

到了1990年5月，这个研究课题已经被改称为“全球持续”项目，而且早已不在考温的控制之下了。考温唯一能做的是把气憋在肚子里，沉默地听凭它发展。毕竟盖尔曼是研究所科学委员会的主席之一，比考温更有权对任何项目的研究方向发表意见。盖尔曼能够、也确实做到了让这个项目按他的意愿进展，而考温作为研究所所长，只能负责出去为这个项目筹措资金。

就好像这些还不够令考温气恼似的，盖尔曼的研究议题更让考温气上加气。其实考温并不认为这个研究议题有什么不对。考温最初也是认为当今的世界远不能持久，这个世界急需根本性的改变。惹恼考温的不是这个原因，而是盖尔曼和他在布鲁金斯、迈克阿瑟和世界资源研究所的同伙们过于自信了。尽管盖尔曼的主张与他们实际所做的完全不同，但只要你实际听听他们所说的，就无法不感到他们认为自己完全知道问题的症结所在，完全知道解决的办法，他们现在所要做的一切就是采取保护雨林的行动。

有这种感觉的并不是考温一个人。在研究所，有许多人都对全球持续项目抱

有很深的疑虑。这个项目已经变成了某种全球环境保护运动了。“如果你早就知道该怎么做了，那这就不是一个研究项目了。”一位桑塔费研究所的研究员说。

“这变成了一个政策实施项目，这不是桑塔费研究所应该扮演的角色。”

但实际情况是，考温实在没有精力再来和盖尔曼争执了。让他去主持这个见鬼的全球持续性项目吧。考温准备退休以后再回到他概念中的全球稳定性研究上来。“我感到马瑞和我在知识层面上并不存在很深的分歧。我们太相似了。也许这正是问题之所在。他的社交手段很容易就会让我感到被冒犯了。而且不止我一个人对他有这种感觉。但我没有理由非要忍受这些，所以很容易就会不耐烦。如果我的性格再完美一些，就不会出现这些问题了。我已经到了这把年纪了，不会和我已经做出让步的人去计较了。”

1990 年已接近尾声，盖尔曼仍然是桑塔费研究所所长一职唯一可以考虑的人选。这时考温凑巧和奈普闲聊了一次。奈普已经回到了罗萨拉莫斯主持介子物理实验室的工作。奈普是一位身材高大、脾气随和的物理学家，有一头惹人注目的波浪般起伏的银色卷发。他在和考温的闲聊中谈及罗萨拉莫斯正在提供非常吸引人的提早退休待遇，这样起码可以部分地缓解冷战后国防经费缩减带来的压力。五十八岁的奈普说，他正在考虑是否要借机提前退休。

他俩都不记得当时是谁在谈到这个问题时都说了些什么。但他们很快就触及到了这个问题：奈普是否有兴趣接受桑塔费研究所所长的位置？

对考温来说，奈普是他中意的人选。奈普参与了桑塔费研究所最初的创建工作。当时创建这个研究所还是一个在实验室资深研究员中酝酿的想法。奈普总是很乐意尽力帮助促成这件事，甚至同意担任了两年研究所董事会主席的职务。他曾经在华盛顿主持过美国国家科学基金会，后来又主持过美国大学研究协会 (Universities Research Association)。芝加哥城外的费米国家加速器实验室和能源部新的超导超级对撞机项目都是在这个七十二个成员的大学财团的领导之下的。奈普显然很关心桑塔费研究所，关心研究所存在的意义。而且，与其他所长候选人不同的是，奈普对研究所该做什么、不该做什么，没有很强烈的个人倾向。

“乔治，”奈普抗议道：“你必须记住我不是个理论科学家，我是一个行政管理人員。”

“这太好了。”考温答道。

对奈普接任所长一职的讨论就此开始。奈普同意，如果研究所董事会要他出来担任所长一职，他会接受。当考温把这话带给董事会时，董事会成员显然都松了一口气。本来始终有一个悬而未决问题：盖尔曼是否愿意，或是否可能把自己转变成一个行政管理者，是否愿意把大量耗费在别的兴趣上的时间转移到桑塔费研究所的事务上来，干好这份工作。到1990年底为止，大家总的看法是，他不会的。那么，既然现在有了一个大家都能接受的所长人选，事情就变得显而易见了，就连盖尔曼自己也明白，如果硬要进行投票表决的话，他必输无疑。

同时，盖尔曼自己也开始意识到，他想得到的是什么样的工作。潘恩斯和其他人花了大量的时间一再向他解释当一个行政管理者意味着什么。它意味着财政预算、各种会议和没完没了的人事纷争。潘恩斯一直在劝说他。“马瑞，这不是你想在桑塔费研究所做的工作。你想做的是当一个教授。”

所以最终大家都保持了君子风度。1990年12月召开了特别董事会议，盖尔曼本人也投了奈普一票。奈普获得了一致通过，当选为所长。

盖尔曼说：“我感到有些失望。我很想当这个所长。这是我有生以来第一次对这类行政工作表示兴趣。不过我很高兴奈普当选了所长。很高兴我们选择的所长是个很好的人，很容易共事。”

考温履行了他一年前的诺言，在1991年3月召开的董事会上辞去了桑塔费研究所所长一职。也正像他所希望的那样，他尽到了自己的良心和义务。国家科学委员会和能源部延续了对桑塔费研究所的资助。但只是延续了三年，而不是五年，维持了两百万美元的数额，而没有提高到两千万美元。不过这笔资金确实得到了延续。同时，迈克阿瑟基金会也已经决定将它对桑塔费研究所的资助金从每年三十五万美元提高到每年五十万美元。好几位私人资助者也提高了他们的资助数额，包括高登·盖迪(Gorden Getty)、威廉姆·凯克(William Keck)。马克斯韦尔也答应每年提供三十万美元的教授基金，尽管他仍然按学期汇寄这笔基金。考温确实做到了在离任时为研究所近期工作奠定了良好的资金基础。他的接班人奈普可以从容地继位，不用一上台就经常要为日常经费而寻求资金了。(但在现实中，生活并不那么充满玫瑰色彩。1991年末马克斯韦尔突然死亡后，他允诺的那笔教授基金也就化为泡影了。这给奈普1992年度财政预算留下了一个

大缺口，迫使研究所减少了来访人员和博士后的名额。但幸运的是，这一亏空只是暂时的，可以弥补得上。)

桑塔费研究所所长一职刚顺利交接完，考温就离开了研究所。在经受了七年的焦虑和行政重荷之后，他现在最需要的是好好休整一下。这对他来说，意味着愉快地重新沉浸到他和罗沙拉莫斯的同事们已经计划好的双贝它衰变实验中去。这项实验已经接近尾声了，他有好几个月几乎都不在桑塔费研究所露面了。(双贝它衰变实验是考温长长的一串研究计划中的一项。该项目于前一年 10 月受到能源部的表彰，考温被提名为具有崇高荣誉的费米奖得主之一。这项奖是为表彰在发展、利用和控制核能源方面的杰出科学成果而颁发的。前几位获该奖者包括像冯·诺意曼、奥本海默这样的人物。双贝它衰变是放射性的一种古怪而极为罕见的形式。它为常规的基本粒子物理理论提供了敏感的实验测试。令考温感到欣慰的是，他和他的同事们能够探测出这种衰变，证明了它完全符合常规理论的说法。)

但对考温来说，暂短的休整对他身体的恢复显然很有效果。1991 年秋天，他又重返桑塔费，在研究所与朗顿共用一个办公室。不止一个人说过，他现在看上去有多么健康、多么精力旺盛。

考温说：“我不知道该如何解释我从所长的位置上退下来后的感觉。就让我用这样的比喻来描述这种感觉吧：这就好像有一个人一直处在一片噪音之中，当噪音突然终止后他就有点回不过神来说：‘那是怎么回事！’或者就像你一直穿着一件苦行僧的粗布衣服，当你刚脱下这件衣服时，会有点怪怪的感觉。如果你还具有清教徒的性格，你刚脱下这件衣服时甚至还有点犯罪的感觉。但我现在已经穿上了改良过的粗布衣服，感觉好多了。”

他说，特别是，他现在有这么多时间来思考这门新的复杂性科学。他发现自己比以往任何时候都为之倾心。“谈到这个知识性概念的向心力，我感到似乎我比任何人都为之所吸引。复杂性科学已经紧紧抓住了我的心，使我总是沉浸在一种永恒的激动情绪中。我感到我的生命似乎得到了释放，是心智的释放。这对我来说是一个重大的成就，使我感到我在这里无论做任何事都是值得的。”

他说，最吸引他的问题是适应的问题，或更准确地说，在不断变化和不可预测的情况下的适应。当然，他认为这只是探索全球永久持续性中的核心问题之一。

他同时发现，在所有谈及“过渡”到一个永久持续的世界的内容中，一直都忽视了适应的问题。他说：“不知是怎么搞的，我们的研究总是在谈一组从 A 状态，即现状，到 B 状态，即永久持续的未来的过渡。但问题是，根本不存在这么一种状态。你不得不假设，过渡与转变会永远地持续下去。你必须讨论的是，这些系统一直保持着某种动力，这种动力根植于其所处环境之中，而环境本身也是在不断变动的。”就像荷兰德所说，稳定就等于死亡。这个世界处在混沌的边缘，必须使自己适应永恒的新奇。考温说：“对此我还没有找到合适的词汇来描述。只是最近，我在玩味海弗劳克·伊利斯(Havelock Ellis)的书《生命之舞》，但这个词也不尽其意，生命并不是舞蹈，甚至没有一个特定的节律。所以，如果我们回到赫拉克利特的概念：‘万物皆动’，那么，‘永久持续’这个词就并没有抓住其本质。”

考温接着说，当然，也许像混沌的边缘和自组织的临界点这样的概念告诉我们，无论我们怎样想防患于未然，A 级灾难都是不可避免的。“巴克已经证明了，各种规模的动乱与崩落，包括最大的灾难，都是基本的现象。我相信他的话。”但同时，对神秘莫测、似乎不可遏制的、日益增长的复杂性，他仍然抱乐观态度。“巴克所观察的系统并不具有记忆和文化。我坚信，如果你一代代地加入记忆和准确的信息，在这点上比以往有长足的长进，那么你就会积累智慧。我很怀疑世界是否会过渡为一个没有创伤、没有悲剧的乐园。但我认为，人类应该相信自己能塑造未来。如果我们无法完全塑造未来，我想我们起码能够实施某种灾难控制。也许我们能够做到让灾难的概率逐代下降。比如说，十年前，核战争的可能性为几个百分点，而现在已经消失为零了。现在我们更加关注的是环境和人的灾难。所以我怀疑，如果我们逐日地反复强调这一点，不断改善环境恶化和人口爆炸的状况，那将会有助于我们创造一个更美好的未来社会。这比只会说：‘这全是上帝的旨意’要强得多。”

另一方面，考温在评价他作为桑塔费研究所的创始人的业绩时，变得格外慎重。他说：“我很高兴我做了这一尝试。现在我还无法评介这一尝试究竟有多成功。但在有一点上，我们的时间没有白费：现在许多人都认为，是我们桑塔费研究所促使了物理学家走向经济学。社会学等所谓的‘软’科学的研究。这使这些物理学家不再像以前那样顽固坚持只研究能够进行严谨分析的现象，而开始进入

了以往总是嗤之以鼻的‘模糊’领域。一些保守的物理学家批评他们这样做是把自己也弄模糊了，但复杂这门新的科学的出现已经是众所周知的事了，研究复杂性科学就是要关心到关于国家和世界的福利和幸福的事。我认为，复杂性科学的研究趋势，无论对国家还是对学术界都有好处。因为如果这门科学能够发挥作用，就会导致重大事件的发生。我认为，这重大事件就是，过去几个世纪变得像一盘散沙一样的科学事业将获得重新整合，物理学分析的严谨性与社会科学、人文科学的远见将被重新结合起来。”

他补充说，到目前为止，桑塔费的这一努力已大见成效，特别是在经济学研究项目上。但谁知道这种努力能延续多久呢？尽管所有的人都付出了最大的努力，但也许仍然会有一天，甚至连桑塔费研究所都会变得停滞不前、保守老化。凡机构都会发生这种情况。“也许不得不关闭这儿的研究所，到别处另开一个研究所。我认为，开办这个研究所是必要的。无论桑塔费研究所是否能够永远办下去，桑塔费的事业都必须继续下去。”

阳光灿烂的时刻

1991年5月的一个星期五的下午，午餐后不久，新墨西哥的阳光洒满了桑塔费所在的修道院的小院，朗顿博士坐在一张白得晃眼的桌子旁，穷于应付记者穷追不舍的提问。

朗顿博士这些日子看上去格外轻松、自信。他已于六个月前，即1990年11月份，成功地通过了他的关于混沌边缘的博士论文答辩，终于拨散了他生活中的这片乌云。同时，他自然获得了科学家基础协会的会员证。桑塔费研究所立即就将他聘为“外部研究员”。外部研究员与桑塔费研究所保持永久的合作关系，对桑塔费研究所的科研方向有很大的发言权。冷战结束以后，罗萨拉莫斯的财政日益紧缩，只够维持日常运转。桑塔费研究所于是就成了人工生命研究的主要支持者。朗顿觉得在研究所就像在自己的家一样，这是他以前从未有过的感觉。

朗顿显然不是唯一一个把研究所当作家的人。午后洒满阳光的小院子里挤满了访问学者和常驻学者。在一张桌旁，考夫曼正滔滔不绝地与方塔纳和其他人大谈他最近对自动催化和复杂进化问题的思考，他的旁边，戴维·兰恩和他带的研

究生弗朗西斯卡·柴诺蒙特(Francesca Chiaromonte)正围着一张桌子谈着经济学项目的最新进展:他们的一项计算机模拟目前正在探索从事技术发明的公司的多种适应性的动力何在;法默则和一群少壮派围在另一张桌子旁,讨论成立预测公司的事。法默对罗沙拉莫斯的经费限制和官僚作风已经忍无可忍了。他觉得,要追求自己的研究兴趣,唯一明智的做法就是暂时离开几年,用他的预测算法大赚一笔钱,这样他就永远不用再写研究基金申请报告了。他强烈地感到非这么做不可,甚至已经剪去了他的马尾巴,以便以更好的面貌周旋于商界。

当然,那个星期五的下午,大家都怀有某种对一个时代结束的别绪。四年多来,这个修道院一直是一个狭小、简朴、拥挤、但却非常完美的地方。研究所在不断扩大,走廊上已经再也容不下更多的办公桌了,而且修道院的租赁期限也到了,天主教堂要把它收回去。研究所在一个月之内就要搬到在“律师之地”租用的办公地点去了,那是一个新的综合办公楼,办公的空间会更大,大家都觉得新的办公楼非常理想。但是,再不可能在这样洒满阳光的院子里聚餐了。

朗顿继续在向记者们解释人工生命与混沌边缘之间概念的细微差别。研究所的几个年轻博士后并不知道这是一场采访,也拉了椅子围拢过来。人工生命在学术圈内已经闻名遐迩了,所以这样的谈话总是值得一听。一场采访很快就变成了一场自由讨论。当你看到涌现时如何识别它?是什么使某组实体的合成变成了一个个体?每个人都有自己的看法,似乎没人怯于发表意见。

密西根大学计算机科学博士,巴奇小组的最新成员麦莱尼亚·密契尔(Melanie Mitchell)问:“作为个体,是否有程度上的差异?”朗顿不知道。他说:“我不能想象进化能够单独作用于个体,进化总是作用于生态系统、人口,总是这个部分产生的结果会迎合那个部分的需要。”

这又引起了其它问题:进化到底是适者生存、还是生存者生存?究竟什么是适应?照荷兰德的说法,桑塔费的观点是,适应要求内在模型的变化,但这是看待适应的唯一方法吗?

在谈到突变时,有人问,存在一种以上的突变吗?如果存在,那么存在多少种突变呢?朗顿正要回答,又顿住了,最后笑了起来。“我正准备对此进行研究。我现在还无法给你一个满意的回答。所有这些术语,像突变、生命、适应、复杂等,都是我们仍在努力探索的问题。”

