

711/162/08

·科学文化书系·

震撼宇宙的七大思想

〔美〕 N.施皮尔伯格 著
B.D.安德森

张祖林 辛 凌 译

李家荣 校

科学出版社

1992

(京) 新登字 092 号

内 容 简 介

本书以一种通俗、描述的风格解释了震撼人类理性世界的七大物理学革命思想,研究了物理学中一系列重要概念所以产生的历史及哲学的来龙去脉,给读者描绘了科学发现的激动人心的戏剧性场面。书中所包含的深刻思想和哲学洞察,一定会受到哲学社会科学工作者、自然科学工作者的关注,尤其会受到大学生和研究生的喜爱。

Nathan Spielberg Bryon D. Anderson

SEVEN IDEAS THAT SHOOK THE UNIVERSE

John Wiley & Sons, Inc., 1987

·科学文化书系·

震撼宇宙的七大思想

[美] N. 施皮尔伯格 著
B. D. 安德森

张祖林 辛 凌 译

李家荣 校

责任编辑 童瑞平

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街14号

邮政编码: 100707

北京市朝阳区东华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992年12月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1992年12月第一次印刷 印张: 10 3/8

印数: 1—4 200 字数: 234 000

ISBN 7-03-002956-9/Z·177

定价: 7.30元

序

许多人都听说过伽利略 (Galileo)、牛顿 (Newton)、爱因斯坦 (Einstein) 等科学名人，但并不清楚他们所作出的实际贡献。例如，在世界流行的艺术电视广告节目中，爱因斯坦与卓别林 (Charlie Chaplin) 一样，其形象被用来推销个人用计算机；而在此之前，他曾帮助揭示令人可怕的甚至是毁灭性的原子核能的秘密。我们希望本书将有助于纠正诸如此类的错误观念，并帮助弄清爱因斯坦及其他科学家究竟有什么伟大成就。

我们采取描述性的方法来阐述近几个世纪中得到发展的几个主要物理概念，把这些概念与其产生的历史及哲学背景联系起来。按照我们对我们生存于其间的宇宙的物理本质的理解，本书把重点放在这些概念的起源、意义、重要性以及局限性上。除作为附带的或说明性的议论之外，我们很少论述应用科学和技术，也不过多讨论科学对于社会利弊的具体意义。我们这里所关心的不是科学和技术对于社会、政治或环境的影响。

本书所论及的主要概念为：哥白尼的天文学探索，牛顿的力学研究，能的思想，熵的概念，相对论，量子论，守恒原理以及对称性。定量的材料和概念主要用图表和图解来介绍。书中出现的几个公式均未作证明。使用这些公式的原因是因为其在说明问题中有时会更为简洁、可取并便于进行类比。

本书起初是用作大学教程，以满足大学通才教育的需

要。这些课程的目的之一，就是向学生介绍对我们生存于其间的文化发生了影响的一些主要的科学发展情况。在为一般读者修订本书的过程中，我们已经删去了按惯例在每章结尾处列出的复习题，也删掉了某些更为技术性的讨论。我们改写了某些材料，并且在有关各种科学进展与哲学和文学思想之间的相互联系方面另外增加了一些讨论。然而，我们的主要焦点仍然集中于讨论这些思想的物理内容。我们认为，不正确理解物理学，就不可能理解物理学对于人类其他思想领域的意义及作用。譬如，我们希望本书读者懂得，爱因斯坦的相对论并不意味着一般人所认为的一切都是相对的观点。我们在书末列出了参考书，其中有些书可供有兴趣的读者在进一步探讨物理学与哲学、文学和艺术之间的相互联系（和错误联系）时参考。这些著作也许会起到指导进一步阅读的作用。

如同所有这类著作的情况一样，除了在参考文献或图的说明中特别提及的学者以外，很难向所有同事表示感谢，很难列出我们查阅过的所有资料和著作。我们特别要感谢这些教授们的评论和帮助：肯特州立大学的D.W. 阿伦德（David W. Allender），W.N. 休宾（Wilbert N. Hubin），J.W. 沃森（John W. Watson）和 B. 史密斯（Bobby Smith）；海勒姆学院的 C. 唐利（Carol Donley）；伦塞勒工学院的 R. 雷斯尼克（Robert Resnick）；博伊斯州立大学的 D. 戴克斯特拉（Dewey Dykstra, Jr.）；纽约州立大学奥斯威戈学院的 R.A. 布朗（Ronald A. Brown）；克利夫兰州立大学的 J.A. 索尔斯（Jack A. Soules）；得克萨斯农业与机械大学的 N.M. 杜勒（Nelson M. Duller）；怀俄明大学的 T.J. 恩格勒特（Thad J. Englert）；以及北卡罗来纳大学的 E. 默兹贝彻（Eugen Merzbacher）。我们也感

谢J.威利父子公司的编辑D.索贝尔 (David Sobel)、R.麦康宁 (Robert McConnin) 以及其他职员。J.安德森 (Joan Anderson) 为手稿的准备做了工作, 我们向她表示感谢。此外A.B.施皮尔伯格 (Alice B. Spielberg) 和W.J.安布罗乔 (William J. Ambrogio) 曾为本书的初版工作做过准备。当然, 首先还是我们的学生促使我们为这个题材做了准备。有一点总不会错, 这就是, 文责由我们自负。

N.施皮尔伯格

B.D.安德森

目 录

序	v
第一章 导言	1
革命与科学	1
物理学的主要论题	3
科学知识的持续进化——七大思想	4
不用数学可以理解物理学吗?	10
科学与人类努力的其他领域——差异与类似	12
第二章 哥白尼天文学	17
地中海地区的早期科学骚动	17
宇宙地心说	24
日心说——哥白尼的复兴	34
新资料与新理论	42
新的发现与论争	44
开普勒的日心说	47
科学革命的进程	55
第三章 牛顿力学与因果关系	57
亚里士多德物理学	57
伽利略力学	66
逻辑学、数学与科学	75
牛顿力学	81
推断与结论	95
第四章 能量概念	99
相互作用与守恒定律	99

热与运动	105
能量守恒	119
第五章 熵与概率	128
热与温度	131
热的自然流	134
热能向其他形式能量的转化	135
热机效率	141
热力学温标或绝对温标	147
热力学第三定律	149
能量衰变, 无效性与熵	150
熵的增加与不可逆性	154
作为系统参量的熵	155
概率与熵的微观诠释	156
熵与序: 麦克斯韦妖	161
宇宙学与哲学推论: 宇宙“热寂说”	164
第六章 相对论	167
伽利略-牛顿相对论	167
电磁学与相对运动	173
探测以太的尝试	186
狭义相对论	191
广义相对论	210
相对论对哲学、文学和艺术的影响	220
第七章 量子论与因果性的终结	222
空腔辐射或黑体辐射	226
光电效应	234
有核原子与原子光谱	239
量子论, 不确定性与概率	250
模型在描述自然中的作用	265

量子论对哲学和文学的冲击.....	268
第八章 守恒原理与对称性	271
核力与核结构.....	273
守恒定律与不变量.....	282
守恒定律与对称性.....	285
夸克模型.....	287
当今知识要览.....	294
参考文献	299
索引	306
译后记	320

第一章 导 言

各种革命及革命思想总是带有某种魅力。政治革命的参与者通常认为，他们通过抛弃既定的秩序，便英勇地抛弃了枷锁，获得了某种新的自由。科学革命具有一种理智的魅力，象征着推翻了对我们所赖以生存的物理世界的某种特定的理解方式，因为被抛弃的这些樊篱枷锁在一定程度上曾影响了人们正确地看待这个物质世界。与政治革命相比，科学革命对我们观察及处理周围事物方式的影响也许更为深刻、久远，而且常常具有出人意外的效果。从这个意义上说，革命的科学思想可以看作是对理智宇宙的震撼。本书旨在介绍物理学中最为重要的七大革命思想。

革命与科学

500年以来，对科学思想作出发展和解释的那些人被列为世界上最伟大、最成功的革命者。由他们所带来的那些革命并非旦夕之间便可实现，在许多情况下，这些革命即使不需要经过几个世纪也得经过几十年才能得以完成。然而，他们的工作却导致形成了关于世界、宇宙以及人类生存空间的一些新思想、新概念。他们的成功深远地影响了人类的思维方式，并坚定了理性和推理是用于理解宇宙的有效工具这一信念。

实际上，一切社会哲学及政治哲学都包含或者受到诸如能量，相对绝对，有序无序，决定论与不确定性等具体科学

概念的影响。科学，无论其是否合理，常常被用来证实或推翻宗教思想的各个不同方面。许多人都认为“科学方法”才是解决几乎所有人类问题的方法。本书描述了那些对现代宇宙观以及对科学方法的普遍采纳作出了贡献的主要物理学思想的发展。

物理学是最为古老而同时又是最发达的一门科学，也是其他各门科学的典范。物理学研究的是有关我们物理世界最本质、最基本的问题。这些基本问题包括：宇宙的起源是什么？物理世界的进化及其前途如何？物质的基本构造是怎样的？自然界有哪些基本的作用力？正因为物理学研究这些及其他一些基本问题，它为全部物理科学，实际上也为全部生物学提供了研究的基础。人们对所有物理系统的最终描述（也就是微观描述）都是根据物理世界的规律，而这些规律又常常被称为“物理学定律”。

因为物理学是最为基础的学科，所以任何与物理学原理相矛盾的科学结论，最终都不能被认为是正确的。例如，达尔文（Charles Darwin）的生物进化论思想早期所遇到的来自科学界的一些抨击就是基于物理学的一个分支——热力学。早期人们对地球从熔状冷却到现在的温度所需要的时间长短的计算表明，地球并没有足够的时间使必需的种种进化过程得以发生（得知这一点时，达尔文相当烦躁不安）。只是到了19世纪后期，放射现象能使地球放出额外的内热这一点得到认可时，才有可能说明，地球实际上是相当缓慢地冷却下来以留有充分的时间来完成进化论中所提到的那些进化过程。从原子核物理学中所得出的放射性确定年代的技术如今给这一思想提供了更进一步的依据。

的确，人们一直认为，整个科学由两部分组成：物理学与捕蝴蝶。这一夸张的说法强调了科学奋斗的两个方面：对

描述性资料进行搜集和分类，以及从基本概念的角度对形形色色现象的原因进行解释。整个科学，包括物理学，必须包含这两个方面。然而，在各门科学，尤其是在物理学中，只有在获得了对各种现象的理解之后，才能认为是取得了真正的进步。

本书之所以选择讨论这些重要的科学概念，不仅是因为这些概念的基本特征，同时也是由于它们所具有的内在吸引力。这些概念代表着物理学发展中一些重大转折点，这里将对这些概念作一大致的介绍。我们希望，读者将会对这些概念中的中心论题、发展过程以及它们对我们理解宇宙的意义有所了解。读者同时还会了解到一些物理学方面的术语。尽管这里对科学方法和科学哲学的具体讨论比较粗略，但是这些问题对确定科学概念的正确性是非常重要的。而且，本书较少讨论科学事业的实际成果或产物，尽管正是这些成果——从电子游艺机、便携式计算机到寿命的保持和延长（以及到核战争的恐怖）——推动了整个现代社会中物理科学极其深入的发展。

物理学的主要论题

贯穿整个物理学发展过程的有两个主要论题：（1）物质与运动；（2）对秩序和模式的探索。第一个主要论题代表了对于理解的愿望，第二个主要论题代表了对于分类的企求。

物理学研究物质与运动。有时在这两者之间或重此，或重彼，但对两者之间相互关系的研究也十分重要。实际上在相对论和量子力学的现代理论中，物质和运动的区分界限已变得含糊不清。一般认为，物质在其最终微细的结构中总是在不断地运动。甚至在导致运动的环境不再存在的情况下，

物质仍然处于运动状态。这种状态常被称为零点运动或零点能。

物理学并不完全涉及诸如“精神主导物质”——运用精神，或某人的智能去控制物质和运动——之类的思想，但却牵涉到对物质与运动的感性认识。有时物理学家们也关心“事物的真正本质”，然而，对这方面的关心通常更应是哲学家们的事情。科学理解是有其限度的，而本书的目的之一便是指出在科学发展的现阶段所存在的某些限度。

作为人类知识的一个分支，科学涉及到关于客体和现象的分类和归类。它不断地对客体和现象之中的关系进行探索，并且以几何形式，如图解、图形、“树”形图、流程图等，去努力不断地描述这些关系。在这些关系中，通常能观察到对称性和重复性，因此注意力便集中于体现这些关系的客体和现象之上。科学总是期望去发现那些最为简单而又普遍的关系。因此，自然而然，各种模式和理论便由此而产生，并对诸种不同的关系进行简化、说明和拓展。

例如，有人认为原子类似于一个微型太阳系，原子核为太阳，电子为行星。根据这个太阳系模型，我们可以提出这样的可能性：原子核和电子的自旋与太阳系中的对应物情况相似。因此，人们便有可能对原子与太阳系各关系的相似程度进行探索。尽管原子的太阳系模型是不尽完美的，但它有助于我们对原子的理解。

科学知识的持续进化——七大思想

科学知识的获得并不取决于某一使人敬畏的瞬间，而是基于人类的实验。科学知识有效性的增加依靠人们不断地进行实验。从这些实验所积累的结果中有可能洞察到现在科学

知识中的新模式，或者认识到过去所一直以为能包罗万象的模式其结果并无普遍意义。在各种现象的新的或不同的模式被认可的同时，原有的概念也许会被推翻或者在很大程度上有所更改。正是科学概念的这种不断向前的动荡与倾覆，修正与现代化，才导致了本书所讨论的这七大物理思想的发展。这里对这些思想作一简要的考察，指出这些思想的主要论题。

1. 地球不是宇宙的中心：哥白尼天文学

近 2 000 年以来，即大致从亚里士多德（Aristotle）的时代到哥伦布（Columbus）航海发现新大陆之前，人们一直相信地球位于宇宙的中心。这种看法曾有文字的和图象的说明，它既存在于现实之中，也存在于神的概念之中。这里所讨论的科学上的第一个重大变革包含着一个截然相反的概念的复兴、认可及扩展，那就是认为地球只不过是绕着太阳旋转的许多星球之中的一颗较小的行星，而太阳本身也仅是一颗恒星。此外，在这巨大的、几乎是无限的宇宙之中，太阳仅位于远离某个典型星系（许多星系之一）的中心位置。这第一个科学革命很可能是最具有摧毁性的，因为它不仅赢得了当时知识界内外对这一革命的接受，而且它还蕴藏着终将来临的其他革命思想的某些种子和动力。哥白尼不仅修正了天文学，他还使相对运动以及科学理论的简单性这两个思想得到运用。

2. 宇宙是按照完美的既定规则运转的

机器：牛顿物理学

宇宙中，物理学法则支配一切。牛顿（Isaac Newton）

在阐述他的运动诸定律及万有引力定律的同时，成功地揭示了哥白尼天文学思想中所蕴含的极其牢固的物理基础。牛顿以及其他奠基这一理论的人们进一步指出，整个物理世界的运转无论从整体还是从细节上都遵循着这些法则以及其他一些类似的法则。这些法则既内容全面，又易于理解。在第三章的详细讨论中可以清楚地看到，第二大思想所论及的是原因与结果（因果性）。因果性对自然的及人为的现象、过程及方法都起着支配作用。此外，对决定论（宿命论）及自由意志这两个互为相反的学说也有着其深远的意义。

3. 能量驱动机器：能量概念

尽管牛顿物理学——力学科学——具有包罗万象的性质，但其对宇宙作出的描述却是不尽如意的。我们还需要知道是什么在维持着这架奇妙机器的运转。古人认为，使万物运转的是神灵，或者是某种第一推动力。第三大思想指出维持宇宙运转的是能量。能量以不同的形式出现，而且可以互为转换。引起当今恐慌的反复出现的能源危机实际上表明了某种能量形式的缺乏，而问题的产生则是由于急需将能量的一种形式转换成另外一种形式。我们可以将能量比作货币，并以这种方式来了解“实际上”到底什么才是能量。货币是人类用来互相交换和互相流通的一种工具。同样，能量在宇宙中各种不同客体之间也以互换的形式进行交流。正如能够获得的货币数量通常是有限的，所能够得到的能的数量也是有其极限的。这一极限往往是通过守恒定律表示，这一定律支配着各种不同形式的能的分配。（能量守恒定律通常指出：“能量既不会产生也不会消灭，能量只能从一种形式转化为另一

种形式。”)第八章将详细讨论:除能量之外,还有一些物理量也能在各物理客体之间的相互作用中进行转化,并且也服从守恒定律。

4. 机器按特定方向运转:熵与概率

虽然能量可以从一种形式转化为另一种形式而无任何损耗,然而可转换程度的各种限制却是存在的。能量从一种形式到另一种形式的可转换性的这些限制的结果,便是宇宙中过去事件总体上的时间顺序的确立。支配可转换性限度的规律是统计学,这与“诚实”的赌博中掷骰子的支配规律——机会——相似。这暗示了一种可能性,即按决定论思想固联的演化至少会因某种反演化而受到改变。这些思想说明,热这种能的可能形式之一,应该被认为是能的一种“衰变”形式,在严重的能源问题的时代尤其要记住这一点。

5. 事实是相对的,而定律则是绝对的:

相对论

相对性理论概念来源于哥白尼天文学发展时期的某些观点。尽管人们普遍认为,爱因斯坦(Albert Einstein)总是与相对论紧密相关,但是许多观察都依赖于观察的角度(更确切地说是参照系)这一思想并不是他首先提出的。实际上,爱因斯坦最开始提出这一理论时是为了去发现那些相对参照系变换具有不变性的(绝对的和不变的)事物。他关心那些从任何角度去看都是普遍的、相同的事物。然而,从光速对于任何参照系都是不变的这一革命思想出发,

他发现了许多过去被认为是不变的或绝对的事物，如时间与空间，实际上都是相对的。爱因斯坦对时空基本概念的重新考察表明了这些概念相互之间的密切关系。实际上，爱因斯坦的工作只是部分地对当时物理学和数学中所盛行的基本看法和假定作了一般性的再考察。这一考察告诉物理学家们，他们是不能完全置哲学和形而上学的思考于不顾的。

6. 人们不可能预言或知道一切：量子论 与因果关系的限度

由于人们企图对原子的亚微观结构的清晰图象获得更为精确的了解，这一思想才得以产生。它摈弃了牛顿物理学中得出的完整而又精细的决定论。20世纪初，原子由电子和原子核组成这一点得到了科学家们的认可，而且为获得电子运动方面更为精确的信息人们也作出了努力。

然而，当精确的画面并没有如期以获时，我们便有必要仔细地考虑我们从物理的角度到底能得到什么，事物的真实本质究竟何在。尽管我们无法获得原子结构极为精细的画面，但我们的确获得了一幅清晰的图象。因此，用新的方法去描述原子和原子核是必要的：各种系统仅存在于特定的“量子状态”之中，观察量只能从概率的角度去理解。这一新的“模糊”画面使人们能够细致地去了解化学，去创造许多奇迹，如半导体、激光、微波炉，雷达通讯、超强力合金、抗生素、等等。

7. 事物永恒不变：守恒原理与对称性

第七大革命思想与万物皆变概念背道而驰，同时，这一

思想还处于发展阶段，其含意的详尽范围尚不清楚。这一思想认为，某些量是守恒的，即恒定的或不变的。尽管以前的理论所强加的某些限制仍然存在，物理学仍在继续对含有大量能量的物质的最终结构进行探索。也许这些难以理解的终极结构单元目前已经清楚，也许这些结构单元包含着诸如构成质子、中子的夸克之类的粒子。但是自然还会产生一些疑问，如支配终极结构的是什么法则，而这些法则又揭示了一些什么物理宇宙本质方面的问题。正如前面所提到的，根据具体的法则或守恒定律，除能量以外，其他守恒量同样也影响着物质的终极构成。从数学上来说，这些法则无一不显露出某些对称性。在决定物质的基本构造单元中，所有这些最新进展都直接追踪到我们对物理宇宙中的守恒定律和对称性之间密切关系的认识。因为这一思想仍在发展中，其他问题也就由此而产生：物质和能量能否从观察到它们的时空簇中分离开来？时空的本质是什么？时空的“形状”和“对称”如何影响似乎具有普遍作用的守恒定律？正由于这点，在物理宇宙中是否真有一种最终结构或基本的统一定律在起作用？我们也许永远不会得到最终答案。但是，物理学家们仍在超出我们理解范围的混沌中不断探索着秩序。

假定这七大思想是物理学今后发展过程中仅有的思想是没有理由的。我们可以将物理学比作一部尚未完成的交响曲，新的乐章将继续涌现。这些新的乐章将不仅引出新的主题，以及由旧的乐章中发展出的主题，而且也会对旧的主题不断重复。例如，在基本粒子物理学最为发达的领域中对对称性的探索与典型的希腊科学的物理学中对完美的探索是没有什么区别的。正因为对过去主题的重复，新的主题的引入以及它们之间的相互影响，物理学才与交响乐或艺术品一样被看作为是体现理性美的“瑰宝”。（一般认为物理学思想的