

# 第 13 章

## 数学和大自然的运作

迄今为止我们的经验使我们有充分理由相信，大自然是可构想出来的最简单的数学概念的实现。

阿尔伯特·爱因斯坦

**自** 从古希腊时代以来，科学决定了我们对于大自然的态度；自从重要的科学理论成百次、成千次地在预言中确证以来更是如此。重要的哲学思想建立在物理科学之存在以及其似乎不可反驳的发现上。

最近的发展，尤其是电磁理论、相对论和量子理论，迫使我们重新思考哲学信条。这一章将概述塑造我们的自然观的哲学思想，并将新旧思想加以对比。一个时代的心态和社会思想、社会活动源自占主导地位的世界观。现在占主导地位的是我们的物理世界观。

一个主要的信条叫做机械论，有时也称作唯物主义；它不但自身重要，而且还对其他的重要信条起支撑作用。粗略地说，机械论坚持，至少物理世界是一架巨大的机器，其各部分之间相互作用。这架机器一点毛病也没有，运作起来从不会出错。看看

行星的运动、潮汐以及蚀的可预言性。机器的零件是运动的物质,这是由力的作用引起的。我们来更仔细地考察一些这些概念。

对于机械论来说,最基本的是物质。相信物质是物理实在的本质可以追溯到古希腊时代。重要的希腊哲学家观察他们周围,以他们有限的资源来尽力研究自然。然而,他们倾向于根据几项观察很快就起而坚持无所不包的形而上学概括。譬如说,留基波和德谟克利特认为宇宙是由真空中不可毁坏不可分的原子组成。亚里士多德从“四元素”来构造物质,这些元素不是实际的土、水、空气和火,而是作为基质的存在体,其性质在上述四种东西中可以感觉出来。

托马斯·霍布斯(Thomas Hobbes, 1588—1679)所宣称的是这一信条的粗糙形式:

宇宙即所有存在着的事物的总体是形体的,也就是说,有体积有维度,有长度、宽度和深度。而且,形体的每一部分也是形体,也有体积,从而宇宙的每一部分也是形体。不是形体就不是宇宙的组成部分。因为宇宙是大全,不是其组成部分的就什么也不是,从而也无处存在。

他还继续说,形体就是占据空间的东西,是可分的、可运动的,按照数学方式来运作。

由此看来,机械论是这样一种学说,它坚持实在只是一架复杂的机器,驱动着空间和时间中的物体。既然我们自身是物理自然的组成部分,一切人性都应该根据物质、运动和数学来解释。

如我们前面已提到的,笛卡儿也坚持根据物质和运动就能解释一切物理现象。此外,物质以直接接触的方式相互作用。

物质由不可分的小微粒组成,其大小、形状和性质各不相同。因为这种微粒太小看不见,关于这些微粒的运作就有必要建立假说,以解释我们能观察到的更大的现象,例如行星绕太阳的运动。笛卡儿不承认空无的空间。他相信,其内全无一物的花瓶会塌陷。

笛卡儿的科学,为前牛顿的多数科学家所接受,尤其是惠更斯。这种学说对于科学提出了一种本质上相同的功能,即对于自然现象的活动提供“物理”解释。

物质是物理实在的本质这一信念,为大约 1900 年以前的所有科学家和哲学家所坚持。牛顿在其《光学》(*Opticks*)中说道:

在我看来很可能是这样,太初上帝塑造物质时把它们塑造成了固实、厚重、坚硬,不可穿透、可移动的微粒,如此坚硬以致永远不会磨损、破碎,上帝在最初的创造中造成的一体,没有普通的力量能够分开。

对于落体和行星运动进行数学化描述,运动着的物质是关键,因而科学家自己试图将这样一种唯物论的解释推广到他们一无所知的现象上去。热、光、电和磁被看成是种种不可衡量的物质,不可衡量的意思只是说这种种物质的密度是如此之小以致不能测量。例如,热中的物质叫做热质。加热的物体吸收了这种物质,正如海绵吸收水一样。同样,电是一种液态或者两种液态的物质,这些流经导线的液体就是电流。

力的作用使物质开始运动,或者通常使物质保持运动。一个撞击另一个台球的台球通过冲力传递运动。牛顿具体引入了引力。为解释电现象和磁现象,法拉第引入了电力线和磁力线,他相信这些线是实在的。

在物质、力和运动这三个概念中,力作用于物质,运动是物

质的行为,因而物质是根本性的。因此,哲学家宣称根据固定的数学定律来运作的物质是唯一的实在。

到18世纪末,发展得最完善的物理科学分支是力学。在著名的法国《百科全书》中,达朗贝尔和狄德罗过于自信地宣称,力学是普遍科学。如狄德罗所说:“世界的真实体系被认识到了,发展并完善了。”力学的确成了快速生长的物理科学新分支的范型。

尽管莱布尼茨为机械论辩护,称其为自明真理,但他并不仅仅满足于机械论。对他来说,上帝、能力和目的同样重要。在其《单子论》(*Monadology*)中,他坚持宇宙是由微小的单子组成,每个单子都是一个能力中心,不可分。每一个都包含着其过去与未来。单子根据先定的和谐来运作,组成更大的有机体。它们是事物的内在活力。而机械论,处理的只是外部的、空间的以及其他的物理特征,譬如说力。

物理学大师、医生、数学家赫曼·冯·赫尔姆霍兹(Hermann von Helmholtz, 1824—1894)在一次演讲中宣称所有自然科学的最终目的是归化为力学——这篇演讲后来发表在《通俗科学讲座》(*Popular Lectures on Science*, 1869)中。赫尔姆霍兹承认并不是所有的力学原理已经被理解了,他让人特别注意力的本性问题:

我们最终发现,关于物质的物理科学问题是根据物体之间的不变的相互吸引力或者排斥力来解释自然现象,力的强度全部取决于它们之间的距离。这个问题的可解决性是大自然的可理解性之条件。……一旦将自然现象还原为简单的力完成的,一旦能够证明这是对于自然现象的唯一的还原,科学的天职就结束了。

赫尔姆霍兹这是在表达一种虔诚的希望，因为即使在他写下这些话的时候，已经有证据表明不可能根据质量对于简单明显的力的反应来解释所有的现象。

尽管在 19 世纪时还不明显，今天我们必须直面机械论的失败。科学家在表述他们的发现的时候是适度清醒的，不过当他们明显错了的时候他们是最清醒的。直到 19 世纪末，他们都确信所有的自然现象都能根据力学来解释。那些还没有得到解释的不久也将会得到解释。有待于解释的尤其是引力的作用和电磁波的传播。

至于引力，科学家当然知道牛顿已为解释重力的作用付出了巨大的努力。太阳的引力如何作用几百万、几亿英里之遥的行星？牛顿的努力失败了。他以著名的“我不构造假说”结束了其努力。机械论没有帮助他。

那么，为什么 18、19 世纪的科学家抓住机械论不放？对此一种解释是：希望总是在永恒地复现。更中肯的解释是他们被迫随牛顿而得来的成功冲昏了头脑，而看不见还需要解释引力的物理本性这个难题。他们诉诸于引力的数学定律，在推导出天体运动的一些已知的不规则性中，在包容新现象中，他们（尤其是拉格朗日和拉普拉斯）的成功是如此巨大、如此准确，解释引力作用的物理本性这个难题就被埋藏在一堆数学文章之下了。我们现在知道力是一种科学虚构，在某种程度上是由人有施加力的能力提示的。

贝克莱主教，与其哲学趋向一致，抨击物理引力的概念。在其对话录《埃尔西弗朗》(Alciphron, 1732 年)中，他写道：

尤佛拉那：我请求你，埃尔西弗朗，不要为言词所迷惑：把力这个“词”搁置一边，从思想中排出每一种其他的东西，然后看看对于力你有什么精确的概念。

埃尔西佛朗：力是那种在物体中产生运动以及其他可感效应的东西。

尤佛拉那：那么它是与那些效应不同的东西？

埃尔西佛朗：是的。

尤佛拉那：现在请欣然排除力的施加者及其效应，以其自己精确的概念来思考力本身。

埃尔西佛朗：我坦白我发现这不是能够轻易想得出来的。

尤佛拉那回答说，看来是这样，既然你认为人的心智和能力是同样的，对于那种无论你我都不能形成观念的东西，我们可以认为其他人也不能形成概念。

总而言之，虽然完全缺乏物理解，但依赖于数学描述，这不仅使牛顿的惊人成就成为可能，而且使几百个后来的成功成为可能。这些人所做的就是牺牲物理上的理解，以换取数学化的描述和数学化的预言。用英国作家 G·K·切斯特顿(G. K. Chesterton, 1874—1936)的话来说：“我们看见了真理；然而真理没有任何[物理]意义。”就机械论来说，电磁理论的历史和引力理论的历史大致相同。如我们已提到过的，法拉第引入了力线来解释各种电荷的作用、磁现象以及电荷间的相互作用。至少可以想象总有一天会证明这些力线(lines of force)的物理存在。然而，当麦克斯韦将电磁现象的作用推广到包含传播几百、几千英里的波时，法拉第的力线最终证明即使作为潜在的物理解释也是完全不够的。麦克斯韦接受了已被提出作为负载光的媒介的以太概念，来作为传播所有的电磁波(包括光)的媒介。麦克斯韦作了巨大的努力来对电磁波的传播进行力学描述，但这和牛顿解释引力的努力一样，以失败而告终。数学方程执掌了大权。

根据最近的发展,机械论和唯物主义是站不住脚的。作为一种实体的以太被抛弃了,只有数学定律“代替”它。引力由相对论中时空中的短程线来代替。我们承认了电磁波的传播,尽管不知道其物理本性。我们还需要接受违背常识的波粒二象性,似乎本来是粒子的电子从原子中射出后通过魔法变成了波。相对论尤其是量子力学要求我们对于经典力学作深刻的修正。如果我们看看自古希腊时代以降到牛顿、拉格朗日和拉普拉斯的经典力学的兴起这段历史,上述需要做的变动就不那么令人不安了。对于亚里士多德的力学、经院哲学的力学以及托勒密天文学的修正至少是同样彻底的革命。

新的科学发展对于机械论自然观的侵蚀在开尔文勋爵(1824—1907)伤感的评论中表现得非常明显(他是19世纪后半期英国科学界的领袖人物):

对于我在研究的对象,只有建立起了力学模型我才能满意。如果我成功地做出了模型,我就理解了;否则我就没有理解。我希望,能够在没有引入那些我理解得更少的东西的情况下,尽可能充分地理解光。

然而,开尔文不得不满足于比他所想拥有的更少的“光”(light)。

在整个历史上,为解释大自然的运作,另一个屡被召唤的信条就是因果性概念。我们试图发现原因,因为这种知识能使我们造成所希望的结果。因果性是一个比机械论稍模糊的概念。它强调原因和结果,不过它并不坚持知道机械解释。好多世纪以来,大约直到1900年,因果性为机械论信念所支持。许多结果发生了是因为在原因和结果之间有物理机制运作来产生那种结果。起先,因果性隐含着原因和结果之间的接触,即空间上的

接触。不过,这不久就扩展到超距作用,如引力。

像多数信条一样,因果性起源于希腊思想。如我们前已讨论过的,亚里士多德区分了在宇宙中起作用的四种原因:形式因是计划或者说设计,终极因是目的,质料因是存在于物质中的原因,作用因产生改变或者使发生。阿基米德(公元前 287—前 212)既是一位伟大的数学家又是一位能将其知识用于实践的科学家,他强调一种与亚里士多德的作用因类似的因果性原理,最后得到的结果是,无论何地、无论何时物质的行为都是有序的、可预测的。

在现代科学中,对于原因的探求起始于伽利略。他确实谈到过引力是大地附近的运动的原因,不过他被迫忽略因果性,不得不满足于对于运动的数学化描述。

牛顿及其同时代人发展了这样一种概念:因果性是物理世界本身的本质中固有的,这种概念在随后的两个世纪中大体上没变。正是在其对于原因的寻求中,牛顿引入了万有引力作为行星椭圆运用的原因,而没有这个原因行星会沿着直线运动。莱布尼茨也确实说过,没有原因什么也不会发生;不过,在他那个时代,对于原因的信念只是一个信念。

对于因果性的一种本质上不同的理解是由康德提出的。在一个笛卡儿的宇宙学还很流行的时代,他深受牛顿科学之兴起的影响,拥护牛顿的天文学力学理论体系,甚至在其论著《天体理论》(*A Theory of the Heavens*, 1755)中大大地补充了这个体系。在其哲学巨著《纯粹理性批判》(*A Critique of Pure Reason*, 1781)中,他断言因果性是一切理性思维的逻辑上必然的先决条件。因而,它不需要事实证据的支持。在《纯粹理性批判》的第二版(1787)中,他这样来定义因果性:“所有的变化都根据因果联系的规律来发生。”

所有这些因果性概念都以各种方式包含了这样一种联系的概念：原因通过这联系来引起结果的存在。苏格兰哲学家大卫·休谟(David Hume, 1711—1776)试图从因果性中清除任何形而上学基础。实际上他对因果性进行了质疑。在其关于认识论的重要专著《人类理智研究》(*Enquiry Concerning the Human Understanding*, 1793)中他写道：

一切科学唯一直接的用途就是教导我们如何根据原因来控制 and 调节未来的事件。相似的事件总是与相似的原因联结，这是我们所经历的；因此，我们可以定义原因为由另一个对象所跟随的对象，并且所有与前一个对象相似的，都由与后一个相似的跟随。

在这种表述中，“对象”换成“事件”更好。休谟的意思是说，一种情况 C 和随后的情况 E 是因果联系，当 C(或与其相似的情况)的发生总是由 E(或与其相似的情况)跟随，并且若 C 不在先发生的话，E 永远不会发生。休谟在其定义中包含了相似一词是因为他要使因果性在实验上可以验证；并且正确地认识到，如果定义得太精确的话，某一给定事件不可能再发生。

定义完了因果性，他就着手来抨击它。他相信，只是因为我们意识到某一特定的因果系列，即使已经有很多次，也不能证明在未来的情形中，原因将由结果来跟随。他得出结论说，我们对于因果性的信念不过是一种习惯，他正确地断言这一习惯不是信念的充足根据。

最受推崇的 19 世纪英国哲学家约翰·斯图亚特·穆勒加强了休谟对于因果性的否认，并加上了一些他自己的思想。在其《逻辑体系》(*System of Logic*, 1843)中，穆勒这样表述了其因果性概念：“对于因果律的承认是科学的主要支柱，而因果律

不过是这样一种为人熟知的真理：经观察发现，在大自然中的每一个事实与先于它的另一个事实之间存在着不变的相继性。”这样，像休谟一样，穆勒把不变的相继性作为因果性的本质，而且他还像休谟一样，给予了因果性一个经验基础。他从因果性中剥去了逻辑必然性，去除了“迫使”概念。他分析道，在这些情形下可以设定两个事件之间存在着因果联系：原因的发生在空间上接近这个事件；原因由这个事件立即跟随；原因总是由这个事件跟随。他没有明确反驳休谟的观念：因果性是一种思维习惯。不过他认为因果性是一种经验概括。归纳是一些概括的基础，尤其是自然规律的基础。他确实讨论过推断出因果联系的方法，例如差异法：

如果在一种情况下被研究的现象发生了，在另一种情况下没有发生，两种情况的条件除了一种外其他完全相同，而这一条件在前一种情况下是有的；那么在两种情况下不同的条件就是……那种发生了的现象的原因，或者是原因中不可缺少的部分。

这一清楚表述的原理至今仍在许多科学领域中应用。例如，在实验室动物身上做实验来试验一种新药物的效果时，总是包括两组，在选择这两组动物时，其大小、年龄、栖息地和喂养诸方面要几乎相同，只有一处差异，那就是一组接受药物，而另一组，即对照组则不接受药物。根据差异法，任何在前一组观察到而在后一组没有观察到的效果，可以合理地认为是由药物引起的。

对于因果性更具毁灭性的打击是由伯特兰·罗素作出的，他是英国数学家、哲学家，并且是 1950 年诺贝尔文学奖获得者。在一篇文章《论原因概念》(On the Notion of Cause) 中，他

说道：

所有的哲学家，不管属哪个流派，都以为因果性是科学的一个基础性公理。然而，奇怪的是，在高深的科学中，譬如说在引力天文学中，原因一词从来没有出现过……在我看来，因果律，像在哲学家中传来传去的许多东西一样，是一种已逝时代的遗物，它能像君主制一样生存下来，只是因为人们错误地假设其无害。

罗素说因果性对于科学来说是“已逝时代的遗物”，是走极端了。

最近，相对性理论倾覆了因果联系。人们通常以为在这种联系中，原因必须先于结果。然而根据相对论，两个事件的顺序不是绝对的了。我们在第9章讨论同时性问题时，发现两道闪光的顺序取决于观测者。如果这两道闪光由在某些观测者看来是原因和结果的事件来代替的话，就会有其他的观测者不能以这种联系来看待这些事件，因为在他们看来，叫做结果的事件可能先于原因而发生。这样，因果联系的概念就是有缺陷的。

尽管有其不足，因果性原理在整个经典物理学时期基本上保持不变。尽管有休谟、穆勒和罗素的批评，到19世纪末因果性被提高到自明真理的层次。路德维希·波尔兹曼(Ludwig Boltzmann, 1844—1906)在其《生理光学》(*Physiologische Optik*)中的说法典型地表现了这种态度：

因果律具有纯粹逻辑规律的品质，因为从其得出的结论并不真正关涉经验自身，而是关涉对于经验的理解，因而它永远不能为可能的经验所反驳。

随着量子理论的发展，因果性原理下场怎样，我们马上就要谈到。

然而,因为一个结果的原因不总是能被确定,例如在彗星的情况下,而且也不总是能发现一种机制来解释各种各样的现象,在 19 世纪,一个替代性的信条——决定论开始产生影响了。因果性和决定性的区别已经由笛卡儿作出了。因为人的感官知觉是有限的,所以结果看起来在时间上跟随原因。原因不过是理由。这一信条的意义最好由一个类比来说明。承认了欧几里得几何学的公理,一个圆的性质(例如周长和面积)以及其内接三角形的性质就作为必然的逻辑结果直接决定了。事实上,据说牛顿曾经问过,既然欧几里得几何学中的定理已经明显由公理所必然蕴含,为什么还有人费事将它们写出来。然而,多数人要费好长时间才能发现一个这样的性质。这种在时间中的发现,似乎以与原因和结果相同的时间顺序将公理和定理相联结,不过这是错觉。

对于物理现象也是这样。在神圣的智性看来,所有的现象都同时并存,由一个数学结构来把握。而感官;一个一个地认识事件,把一些当作另一些的原因。笛卡儿说道,我们现在可以理解为什么对于未来的数学预言是可能的,这是因为数学关系是预先存在的。数学关系是对于关系的最清楚的物理解释。简而言之,真实世界是数学上可表达的物体在空间和时间中之运动的总体,整个宇宙是一架巨大的、和谐的、数学化设计的机器。此外,许多哲学家,包括笛卡儿,还坚持这些数学定律是固定的,因为上帝就是这样设计的宇宙,而上帝的意志是不变的。不管人类能否读解上帝的意志、看透上帝的设计,世界都根据定律来运作,世界的规律性是不可否认的,至少 19 世纪以前是这样。

宇宙由坚硬的不可毁坏的微粒组成,这些微粒根据确定的、可计算的力相互作用。这种牛顿式的宇宙观被法国天文学家、数学家皮埃尔-西蒙·德·拉普拉斯侯爵(Simon de Laplace,

1749—1827)用来作为一种彻底的严格的决定论之基础。下面的话是他对于决定论之本质的经典性表述:

有这个一种智性,在任何给定瞬间都知道大自然中所有的作用力,而且知道组成宇宙的所有物体的瞬间位置,如果它有足够的能力分析一切数据,那么在它看来,就没有什么是不确定的了,无论过去还是未来都展现在它眼前。

实际上拉普拉斯的“单一公式”难以想象。决定论者愿意满足于诸多公式。

拉普拉斯没有意识到,他是在撰写机械论和决定论的墓志铭。他的概念包含一个凭空想象的超人“智性”。但是这样一种智性的存在是不相干的。如果宇宙确实以势不可挡的严格的决定论方式运作,贯穿了过去和未来,那么不管是否有这样一个智性来知晓,它还是如此,因为在拉普拉斯的宇宙中,这种知性不施加任何影响。因为其在数学和天文学领域应得的巨大声望,拉普拉斯的完全决定论的宇宙观被广泛讨论、并极为推崇。

决定论的宇宙观是如此坚定地坚持,以至于哲学家们将其应用到作为宇宙的组成部分的人类的活动上去。观念、意愿和行动是物质之间相互作用的必然结果。人类的意志是由外部的物理原因以及生理原因决定的。霍布斯这样来解释看起来是自由的意志:外部的事件作用在我们的感觉器官上,而这些又压触在我们的大脑上。大脑中的运动产生了我们叫做欲望、高兴和恐惧的东西,这些感觉不过是这种运动的存在罢了。当欲望和厌恶互相挤撞时,就有了一种叫做权衡的物理状态。当一种运动占上风时,我们就说我们已经运用了自由意志。然而,没有选择是真正由个体作出的。我们意识到结果,但没有意识到决定结果的过程。根本就没有自由意志,这是无意义的词语组

合。意志牢牢地受物质的作用钳制。

伏尔泰在其《无知的哲学家》(*Ignorant Philosopher*)中说道：“如果整个的大自然、所有的行星都遵循永恒的规律，而有一种 5 英尺长的小动物，居然能够蔑视这些规律，主要按照其臆想随心所欲地行动，那倒是很奇怪的。”我们发明概率一词不过是用来表示一种其原因未知的已知结果。

这一结论是如此令人不安，甚至连唯物主义者也试图来减缓其强硬性。其中有些认为，虽然人类的行为是被决定的，思想却不是。引入了这种二分法也不能给人多少安慰，因为这意味着思想在决定行动时是无用的，人类仍是机器人。另外的人为保留一些自由的外表重新解释自由的含义，伏尔泰含糊其辞地说：“自由意味着能够做我们所喜欢的，而不是意愿我们所喜欢的。”很显然，为了得到自由，我们必须喜欢他者替我们意愿的东西。

在科学中，说事件 A 决定了事件 B 只是意味着给定了 A，就能计算出 B，反之亦然。这样，对于决定论在科学中的“运用”，可以这样来表述：给定了在某一特定瞬间一组物体的状态，就能够通过计算来确定其任何其他瞬间的状态，无论过去还是将来。

科学意义上的决定论可以由变量之间的函数关系（即我们在前面的章节见到的公式）来更好地表示。很明显，函数关系并不带有原因和结果的含义。

一门严格的科学中的要务就是确定变量之间的函数关系。当发现这样一种关系广泛有效，表达了一个有关宇宙运作的重要事实时，它就取得了自然规律的地位。决定论原理可以说归于科学规律的恒定性和可靠性。适当地考虑这样两个事实：

- (1) 作为定律之基础的实验数据永远也不会完美地精确；

(2) 所有的理论联系都是试探性的,可能经新的发现来修正,那么决定论的内涵恰好就是大自然的统一性。

然而,决定论命定不能持久。在大自然的运作中有一些不稳定因素——克拉克·麦克斯韦称它们为奇点(singular points)。坐落在山峰顶上的一块岩石是不稳定的,因为只需轻轻地一推,就可能引起山崩。同样,这些也是不稳定现象:引起森林大火的火柴,使世界战争的小词语,以及使我们成为哲学家或者白痴的小小基因。这样的不稳定因素是决定论的世界中的裂缝。在这些事例中规律崩溃了,在其他情况下可以忽略的效应在这里可能起主导作用。

麦克斯韦提醒其科学同行注意这些奇点的含义:

因此,如果那些物理科学的耕耘者在追求科学的神秘知识中被引向研究奇异性和不稳定性,而不是研究持续性和稳定性,那么科学的进展就可能倾向于去除那些赞同决定论的偏见,这样的偏见似乎起源于这样的假设:将来的物理科学只是对于过去的物理科学之观念的放大。

如果一个人是他那代人的领袖,那他实际上是下一代人的预言家。麦克斯韦自己对于气体理论的贡献协助为决定论的死亡铺好了道路。他在这种世界结构中所见到的裂缝或者说缺陷不久就扩大了,决定论的世界分崩离析了。

决定论不得不向统计规律让步。在我们探究这一概念之前,让我们先来看看这种定律的意思是什么。在美国最大的商业机构就是保险业。很明显,想通过第一原理来推导出任何一个人的死亡之年的一切企图都注定要失败。然而,通过获取有关几千个人的生命期限的数据,并利用概率论,保险公司可以以这样的保险费来给人们提供保险:对于付保险费的个人以及冒

风险的公司来说都是公平的。

统计规律在物理学中的应用是从统计力学开始的。在统计力学中,至少可以相信:如果我们能够处理几百万个以决定论的方式运动的分子的碰撞,就能够确定气体的行为。然而,分子数是如此之大,除了统计手段就不可能考虑其总体行为。对于统计规律的第一次重要的运用是由路德维希·波尔兹曼在其气体研究中作出的。在一个好像与机械论和决定论从容相得的世界里,这是激进的一步,因而引起了剧烈的争论。然而,波尔兹曼坚持,物理学的任务不是传唤经验数据来接受我们的规律和思想的判决,而是使我们的思想、观念和概念来适应经验上所予的。波尔兹曼的统计力学在他那个时代被嘲笑为“数学恐怖主义者”的妄想。

放射性,电子作为波和粒子的好像任意的行为,以及粒子从原子核中不可预言的射出,这些无疑都在向决定论挑战。此外,普朗克的量子、爱因斯坦的光子以及波尔的电子跃迁,都不能确定地预言。由维纳·K·海森堡(1901—1976)在1927年所宣布的不确定原理(见第10章)在动摇决定论信念中也起了重要作用。在1927年发表的一篇文章中,海森堡对因果性和决定论都作了抨击:

但是在因果律的强表述中,如果我们准确地知道了现在,就能够计算未来。错误的不是最终的原因,而是其假设。我们从原则上不可能知道现在的一切被决定的组成部分。因而,所有的知觉都是从大量的可能性中的一种选择,一种对于未来可能性的限制。因为量子力学的统计特性是如此紧密地与知觉的不精确性相联系,有人倾向于去设想在被知觉到的统计性世界背后隐藏着因果律有效的真实世界。但是在我们看来……这样的推测是无意义、无结果的。

物理学必须给出的只是知觉之联系的形式化描述。对于真实情况的一个更好的描述是：既然所有的实验结果都遵循量子力学，量子力学确定无疑地显示了因果律的无效性。

海森堡的不确定原理不只是说量子现象的因果联系在我们的探测能力之外，而是清楚地蕴含：这种联系不存在。这是海森堡自己的推断。鉴于不确定原理，因果性和决定论变得无意义了。量子力学只能是一门统计性学科。它对单个粒子不给予精确的描述，对于其行为也不作精确的预言。不过，对于大的粒子集合，它能作出非常准确的预言。

李夏德·冯·米泽斯以及其他撰文讨论量子力学的人提出了不确定机制。所有的确定性的定律都被看成不过是对于与机遇律相联系的可几关系的近似的、纯粹被动的反映。如此一来，原子领域中的单个过程和事件就是完全无规律的。如爱丁顿在其《物理世界的本质》(*The Nature of the Physical World*)中所预言：“科学已经使决定论站不住脚了。”

1957年汉斯·莱辛巴赫在其《原子与宇宙》(*Atom and Cosmos*)中强调对于所有物理结果的几率解释是正确的。最可几的就是在观察的范围内发生的。只有在无数原子在高几率过程中结合的大尺度上，我们才能在实践中把这样的现象看成是确定的。从根本上说，即使大尺度的事件也是可几的。空间、时间、实体、力、因果性以及定律这些概念是从“中尺度”的人类日常经验中借来的，肯定不适合原子现象。

长期以来其他有影响力的物理学家如波恩、波尔和鲍林都坚持(尽管稍有不同)，大自然中的事件只能由几率解释，而普朗克、爱因斯坦、冯劳厄、德布罗意、薛定谔以及其他人则不同意这种观点——对于因果性和决定论他们坚持经典力学概念。争论的要点在于，量子物理规律的统计性是由于我们缺乏知识而采

用的权宜之计,会随着时间进程由象牛顿力学中那样的规律来取代呢;还是统计规律具有客观性——即独立于我们的知识和意识——对应于微观世界中的实际事件。

我们大都很熟悉爱因斯坦的观点:上帝不会掷骰子。他在两封信中表达了这种信念,这两封信由罗纳德·W·克拉克收集在《爱因斯坦:其生平及时代》(*Einstein: The Life and Times*)中。第一封信是 1926 年写给马克斯·波恩的,其中说道:

量子力学的解释力的确给人印象至深。不过有一个内在的声音告诉我这还不是真实的。这一理论表达了很多,但没有使我们更接近太一的秘密。不管怎么说,我都相信他不会掷骰子。

第二封信是很久以后写给詹姆斯·弗兰克的,其中说道:

在最糟糕的情况下,我能意识到至善的主创造了一个其中没有自然规律的世界。简而言之,即混沌。但是我非常不喜欢的是这样一种观点:居然会有有确定解的统计规律,即迫使至善的主在每一个个别事例中都掷骰子的定律。

在《我的世界观》(1934)中,爱因斯坦说道:“上帝是奥秘无穷的;但他并不怀有恶意。”此外,爱因斯坦和其同事为 1935 年的《物理学评论》合写的一篇文章中,还说波动力学理论是不完备的。爱因斯坦说在将来统计性的量子理论会像统计力学一样:其中单个粒子(例如气体中的分子)的运动是确定的,但是因为有如此之多,所以运用统计学和概率论。对于新物理学贡献甚大的英国物理学家保罗·A·M·狄拉克在 1978 年也表达了同样的观点:

我认为结果可能会证明最终爱因斯坦是正确的,因为不应该将量子力学的现在形式看成是最终的形式……我认为很可能在将来某个时间我们会获得改进了的量子力学,其中回归到决定论,因而证明爱因斯坦的观点是有道理的。但是这样一种向决定论的回归是需要付出代价的:放弃我们现在未经质疑就设定的某个其他的观念。如果我们要重新引入决定论,我们将不得不付出代价,其方式我们现在还猜不出。

狄拉克指出了某个意识形态的障碍使我们偏离了对于一种更完备的决定性理论的发展,这看来无疑是正确的。如亚历山大·蒲普在其《论人》(*Essay on Man*)中所言:“所有的机遇,即你看不见的趋向……”

爱因斯坦和狄拉克都没有提出满足这种需要的替代模型,另外一些物理学家如戴维·包穆(1957)和坂田昌一(shoishi sakata)(1978)都批评了概率性的量子力学,但都没有提出一个有用的替代模型。许多其他的有才能的科学家也与这一难题搏斗,最终未果。然而,现在量子力学发展得是如此充分,以至于解决方法几乎不依赖于更多的实验数据。

尽管科学家们在处理关于易于看见或操作的客体的事件时(即莱辛巴赫所说的中等尺度现象),仍运用经典力学的决定论规律,但是,由于量子力学提供的新洞见,他们对于这些事件中的决定性机制的态度大大地改变了。事情这样发生了,是因为它们这样发生是高度可几的,而别样发生时是不可几的。

近来的科学创造深刻改变了关于科学的许多哲学信条,机械论、因果性和决定论是其中的三个。还有很多,我们来简单地看看其他的几个。

唯心主义是解决我们与外部世界之关系的形而上学难题的

另一种方式。唯心主义通过砍去其一端来解决这个难题——如像贝克莱那样否认外部世界的存在(见《历史概观》)。我们对于外部世界的一切觉察都是在我们本身之内发生的,因而,认为这种觉察是由外在于我们的物体产生的,这种信念很可能是一个错觉。当我们看一棵树时,它确实存在于我们的意识中。当我们转身不看时,那棵树就不再在那里了。如果我们记起它,或者听到另一个向我们保证它仍在那里,那么我们所经验的也不过是心理过程。

对于唯心主义的普通的直觉反应就是视为荒谬的而弃置不顾。令人敬畏的萨缪尔·约翰逊博士(1709—1984)以为以其足踢一块巨大的岩石就反驳了它。尽管有许多有能耐的哲学家致力于反驳它,但从来没有最终成功。因为不在有意识的存在者中引起感官知觉的事物之存在,不可能在实验上证明,独立于人类的物理存在应该被称作是无意义的。而且,所有的科学家应当是唯心主义者。然而,所有的经典科学是坚实地建基于这个前提之上的:一个外部的客观的宇宙的确存在。科学家们对于此是普遍意见一致的:大自然不是在欺骗他们;他们对于一个真实的外部世界的概念是有充足理由辩解的。

经典型的科学家相信存在一个客观的宇宙,如果有人质疑,他会回答说人的观测不会对于所观察的对象有可察觉到的影响。此科学家会断言,在观察之前所做的实际上是在确认观察对象原来是什么,而在观察之后是在确认它将是什么。然而,这种经典科学的假设不再能站得住脚了。观测的确对于观测对象有影响,对于宇宙的基本组成成分来说,这种影响绝不是觉察不到的。海森堡充分解释了这一点。

经典科学已经先验地假定存在着一个外部世界。经典力学的方程被认为是描述了在这个外部世界中实际上所发生的。量

子力学也有其数学方程,不过这些方程式是对于观测本身的描述,描述的不是实际的粒子本身,而是这些粒子在荧光屏(有点像电视屏)上的作用效果。

与唯心主义相反,逻辑实证主义断言真理只建立在观测到的事实上。实证主义者是反形而上学的,对于他们来说,有意义的知识的唯一来源是经验。从经验中得出基本的命题,然后由严格的推理加以扩展。任何命题的意义就是对于它的证明方法。约翰·斯图亚特·穆勒是实证主义哲学的代表人物。他也断言,尽管知识主要通过感官而来,但也包括有意识的心智对于感官证据所表述的联系,例如科学定律。此外,虽然实证主义者在这一点上与唯心主义一致:没有办法证明存在一个外部世界,但他们坚持也不能证明它不存在。从根本上说实证主义者是经验主义者,他们对于经验和理性对象作了严格的区分,并否认后者的实在性。

在这简略的叙述中我们的收获是什么?我们的目标很简单——指出最近的科学发展如何促使我们不断地检验那些固持的观点,表明这些发展如何改变了我们的生活以及观看大自然的方式。科学哲学,或者有人更愿意称其为关于大自然之运作的哲学,是基于当今的科学知识所作的概括。随着知识从一个时代到另一个时代的改变,哲学也必须改变。因此,我们永远不能忽视作为“硬核”的科学发现。

这本书旨在表明:这些科学发现主要地——在某些领域中是完全地——依赖于数学。既然数学确实是人类的创造(尽管有相反的意见),我们能得出什么结论呢?大自然是否有秩序、经设计甚至有目的(如亚里士多德所认为),这是不能断定的。确凿无疑的是,人类最有效的工具——数学——对于令人困惑的复杂自然现象提供了某种理解和控制。