

# 世界图景的机械化

〔荷兰〕爱德华·扬·戴克斯特豪斯 著



创于1897

商务印书馆  
The Commercial Press

# I 古代的遗产



# 第一章 导言

1. 关于自然的科学思想在数个世纪中屡有转变,其中最为深刻、影响最为深远的莫过于所谓机械(mechanical)世界观或机械论(mechanistic)<sup>①</sup>世界观的出现。

首先,正是这一观念造就的研究方法和讨论方法使物理科学(包括关于无生命自然的所有科学:除了严格意义上的物理学,还有化学、天文学)能够蓬勃发展,今天我们正在享用它的成果:以实验为知识来源,以数学公式为描述语言,以数学演绎为指导原则,寻求可由实验确证的新现象;其次,正是这一观念的节节胜利使技术发展成为可能,从而使工业化迅猛发展,否则现代社会生活根本无从设想;最后,正是这一观念所蕴含的思想方式深入到了关于人及其在宇宙中位置的哲学思想,渗透到了初看起来与自然研究无涉的众多专门学科之中。鉴于所有这些因素,物理科学的机械化已经不单单是一个关于自然科学方法的内部问题,而是影响了整

---

<sup>①</sup> 很难有一个术语能够完全令人满意。“机械的”(mechanical)含有过多无意识的“自动”的含义。“机械论的”(mechanistic)本身并没有这种令人不快的含义,但它所对应的名词“机制”(mechanism)却指机器的内部构造。因此,我们倾向于用名词“机械论”(mechanicism)来指思想体系,然后既使用形容词“机械论的”(mechanistic),又不尽一致地谈及世界图景的“机械化”(mechanization)。[除非特别指明,均为原注。下同。——译者注]

个文化史,因此,它很值得科学界以外的学者关注。

接受机械论观念对整个人类社会产生了深远的影响,至于如何评判这一历史事实,存在着各种不同看法。有些人把它看成人类思想渐趋明朗的征兆,预示着能在一切知识领域获得可靠结果的唯一方法不断得到应用。即使后来的物理科学不得不放弃经典机械论的一些基本原理,这种方法的价值也依然未受损害;另一些人虽然认识到,机械论观念对于理论认识的进步和对自然的实际控制至关重要,但却认为它对于哲学科学思想以及社会的一般影响几乎是灾难性的。在他们看来,让其他科学分支尽可能地效仿物理科学的研究方法绝非方法论的理想。他们往往认为,思想受制于机械论观念是世界在 20 世纪(尽管有各种技术进步)陷入精神纷乱和困顿的主要原因。

然而,我们关注的并非这种观点分歧,而是机械论科学是如何产生的。这并不意味着评价它对思想和社会的影响无足轻重,而只是考虑到,假如不清楚机械论在科学中的发展过程,不真正理解它如何能对科学家产生深刻的影响,那么做出这种评价是很困难的。要想避免得出草率的结论和情绪化的判断,这里尤其需要一种历史根据。

2. 我们先前使用了“世界图景的机械化”和“机械论观念”等一些术语而未作进一步说明和定义。之所以如此,并非因为这种说明没有必要,而是因为它们的含义相当含混,而且与时代密切相关,以致根本不可能三言两语就定义清楚。从某种角度来说,我们整本书都在试图回答这样一个问题,即在什么意义上可以谈及一种机械论的世界图景。在这样说的時候,我们想到的是希腊词  $\mu\eta\chi\alpha\nu\eta$  所暗示的“机械”或“机器”的含义(即把世界[无论是否包含

人的精神]看成一台机器)吗? 抑或是指, 自然事件可以借助于力学(mechanics)<sup>①</sup>这门科学分支的概念和方法进行描述和处理(这时这个词在一种非常不同的含义上被使用, 意指运动科学)? 这个问题我们目前只能暂时搁置起来。

如果持后一观点, 那么它指的是哪种力学? 是与亚里士多德和阿基米德的名字联系在一起的古代力学, 还是以牛顿命名的经典力学, 抑或是 20 世纪在相对论和量子理论影响下产生的力学?

这里对古代、经典和现代的划分(这里的“经典”[classical]一词不同于它在“古典时期”[classical antiquity]中的用法, 而是指今天的物理学家赋予它的含义)不仅适用于力学, 而且(在力学的影响下)也适用于整个物理科学。物理科学的历史发展或可分为三个时期, 其中每一个时期(尽管有一个渐进过程)都有确定的起始年份: 古代物理科学始于米利都的泰勒斯(Thales of Miletus, 约公元前 600 年), 经典物理科学始于 1687 年艾萨克·牛顿《自然哲学的数学原理》(*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*)问世, 现代物理科学始于 1900 年马克斯·普朗克(Max Planck)提出量子概念。这一划分也严格限定了本书的主题: 我们只讨论经典物理科学的起源史及其在牛顿著作中的最终确立, 而不考虑它在 18、19 世纪的影响, 也完全不涉及现代物理科学。

相对于 1687 年这一明确下界, 我们却无法指定同样明确的上界, 除非从泰勒斯算起(那时理论科学的历史必定已经开始), 因为

---

<sup>①</sup> Mechanics 一词在近代之前本应译为“机械学”, 因为它讨论的是违反自然的、服务于人的实用目的的机械, 见 Aristotle, *Mechanics* 开篇; 而到了近代之后, mechanics 渐渐与讨论自然物和自然运动的物理学(physics)相同, 这时可译为“力学”。——译者注

对于古人如何形成关于自然事件的清晰观念,我们只有零星的了解。的确,虽然可以说经典物理科学的奠基完成于 1687 年,但却说不清楚这种奠基从哪一年开始。经典物理科学由古代科学逐渐发展而来,而且自然思想的演进每每表明,它并不需要拒绝或忽视前一时期所取得的成果,而是可以在适当改造后接受它们,沿着古人业已开辟的道路继续前进。如果我们想了解它的起源,就必须由果溯因,厘清师承关系。就这样,我们最终无可避免地来到了古希腊。在许多领域,那里都是孕育欧洲文化的真正摇篮。如果不研究古希腊,我们就无法完整地洞悉这些领域最深的基础。

3. 这也许意味着,要想实现本书的目标,我们就不得不回到哲学的传统开端,回到泰勒斯所说的万物源于水,万物充满了神灵,并从这里探究希腊自然思想的所有支脉。如果我们力图完备,那么这的确是必需的。然而,这一理想尽管诱人,却有迷途之险,我们必须警惕它的诱惑。本书的目的并不是为科学史家提供一部手册,而是专为对这一主题有广泛兴趣的普通读者所写。他们可能并未受过数学或物理学的专门训练,我们相信粗线条的概览要比琐碎的讨论更能使他们受益。因此,我们只关注希腊文化对于物理科学兴起的贡献,不是追溯希腊思想本身的历史发展,而是探究希腊留给欧洲的思想遗产,寻觅它为欧洲思想指引的方向。

这份遗产有两个不同方面。首先是一些伟大的基本观念,它们更多是哲学性的而非科学性的。虽然它们并非永远有效,但却一直影响科学的发展至今;其次是希腊科学的一些正面成果,后来者往往以此为基础,至少以之为出发点。我们先来概述希腊哲学的一些思想流派,它们对自然科学至关重要。

## 第二章 希腊自然哲学思想的主要流派<sup>①</sup>

### 第一节 毕达哥拉斯主义

4. “毕达哥拉斯主义”一词指的是传奇哲学家萨摩斯的毕达哥拉斯(Pythagoras of Samos)及其直接追随者的学说以及后来一些学派的思想,他们或者认为自己正在延续着毕达哥拉斯的学统,故而用毕达哥拉斯的名字来称呼自己(比如以阿基塔斯[Archytas of Taras]为中心的群体,它被亚里士多德称为意大利的毕达哥拉斯学派[Pythagoreans]),或者力图复兴他的学说(比如基督纪元开始时的新毕达哥拉斯学派[Neo-Pythagoreans])。这里我们既不依循传统去讲述毕达哥拉斯及其直接追随者在数学、天文学和声学方面的贡献,也不去追溯他们是如何取得这些成就的,而只须强调,毕达哥拉斯学派所有思想的共同特征是赋予数和数的比例以至高无上的地位。根据希腊数学术语的用法,这里的数只能理解成自然数。数的比例首先是为了表达自然现象中所显示的典型

---

<sup>①</sup> Duhem (6), Enriques e de Santillana, Sarton I, Sassen (1), Ueberweg-Praechter.

关系:经典例子是,2 : 1、3 : 2 和 4 : 3 可以用来刻画纯八度、纯五度、纯四度的协和音程,这里不必考虑成比例的物理量到底是什么(管长、弦长或振动频率),也不用关注构成音程的两个音中较高的音对应着比例的大项还是小项。数在几何学中也发挥着作用,它们可以代表排成几何图样的点的数目,也可以用来表示线段长度之比,直到希腊数学家惊讶地发现,有些线段长度的比例关系无法用数来表示,从而不得不另辟蹊径来发展比例论。甚至可感物体的本质似乎也能通过几何形状来表达,这些几何形状又是通过数来排列和确定的,因此即使在这里,数也被视为最终的原因和存在的本原。这种信念又可进而推至精神状态、道德品质和人际关系,以至于亚里士多德最后将毕达哥拉斯学派的整个学说总结成一句带有悖论意味的话:万物皆数。<sup>①</sup>

5. 这一观念首先为后来科学中所谓的数学主义奠定了基础,数学主义认为,物理科学的最终目标在于用一组数学对象及其相互关系来描述自然,人对自然的一切可能认识都能以这种方式表达出来。然而,这种观念也催生了一种数秘主义(number mysticism),其信奉者终日沉迷于对数的抽象思辨,不再关注同科学的一切联系,只有在少数情况下才激励了科学研究——我们将在 IV:26,59 中讨论一个显著的例子。

通过强调数的整理功能和规定作用,毕达哥拉斯主义还有力地支持了 cosmos 的观念,它指的是一个秩序井然、结构完美的物理宇宙,其他希腊思想家对此已经有了模糊的预感。亚里士多德

---

<sup>①</sup> Aristotle, *Metaphysics* A 6:987 b 28.

将其简洁地表达为：整个天界是和谐与数；<sup>①</sup>也就是说，天体运动所显现的秩序（它本身已经构成了一种美的要素，能够激起希腊人的审美感受）可以通过数的比例来确定，它与声音的协和都属于和谐概念。只不过天球的和谐无须听到，这里心灵的眼睛占据了耳朵在音乐中的位置。

经典科学有两大支柱：一是物理科学与数学之间的密切关联，二是自觉的经验研究。虽然毕达哥拉斯主义对于前者很重要，却基本上无益于认识后者的重要性。一旦在偶然获得的感觉经验对象中观察到某些数学关系，它们与物理实在的联系就会终止，思辨就会退回到理想领域。难怪毕达哥拉斯会被后世的希腊数学家誉为纯粹数学的创造者，因为这是一种纯粹的精神活动，数学思想在其中摆脱了一切经验实在的羁绊。这种观念所揭示的理性主义，以及在毕达哥拉斯学派中颇为盛行的与此密切相关的神秘主义，无疑反映了该学说的宗教伦理特征。纯粹的知识摆脱了感官世界的不完美（或者把不完美理想化为完美），包含着一种遁世和禁欲的倾向。它被引向非物质的东西，使灵魂从感官的束缚中解脱出来，得到净化（κάθαρσις）。

## 第二节 爱利亚派<sup>②</sup>

6. 爱利亚派以巴门尼德为主要代表，这些人相信，我们在世间察觉到的一切变化都是因为感官欺骗而引起的不实幻觉。真正

---

① Aristotle, *Metaphysics* A 5:986 a 3.

② Hoenen (1), Joel, Meyerson.

的存在并不具有我们基于经验而乐于赋予事物的那些属性：生灭，质、量或位置的变化，多样性。真正的存在既无生灭，亦无变化；它是不可分的一。

几乎无法设想，这样一种激进地否认经验世界实在性的哲学会对以这个世界为研究对象的科学产生任何激励作用。但事实确乎如此。我们很快就会给出一个例子。不过现在已经可以猜到，它的精神后来表现在什么地方，那就是：经典物理科学极力追求可变现象背后不变的东西，力图证明即使在生灭变化昭然若揭之处，在某种意义上也没有什么东西在变化，物质守恒、动量守恒和能量守恒定律是存在的，一切真正的因果解释都可以归结为同一性。

爱利亚派关于存在不发生变化的信念对希腊思想的强大影响直接显示于希腊的微粒理论，我们现在就来讨论它。

### 第三节 希腊微粒理论<sup>①</sup>

7. 科学远远不能满足于只是宣称，自然中观察到的一切变化——新物体的产生、已有物体的消亡、质的变化和量的变化都仅仅是幻觉，故而应把它们从哲学思辨的领域中驱逐出去。对科学来说，设定了存在统一性和不变性的纯粹的爱利亚派思想必定是无法接受的。而另一方面，一般的希腊思想也倾向于认为，我们所察觉到的一切变化都是基于某种永恒的东西，这种东西代表着真正的实在，而不愿接受赫拉克利特(Heraclitus)所持的相反观点，

---

<sup>①</sup> Hoenen (1), Hooykaas (1) (5), Lange, Lasswitz.

把生灭变化当作真正的实在。然而,要想保持存在的不变性,就必须放弃单一性(要么是质上的,要么是量上的),这正是接下来几位思想家实际做的事情,他们把爱利亚派传统继续向前推进。

第一位是恩培多克勒(Empedocles),他提出了对物理科学的发展至关重要的“四根说”(doctrine of four elements)。根据这一学说,存在着四种有质的差异的基本元素,我们经验世界中的一切物质都是由它们构成的。命名它们的是最能清晰体现物体之间典型差异的四种东西:坚硬的土、流动的水、气态的气、炙热明亮的火,不过这并不意味着它们之中有纯净的元素。恩培多克勒很可能还认为这四种元素以无法感知的微粒形式出现,我们在自然中感知到的所有变化本质上都是这些元素微粒在爱(Φιλία)与憎(Νεῖκος)影响下的组合、分离和运动。

这也许是第一种可以称为物质微粒理论(corpuscular theory)的学说。其本质特征是,认为无生命自然中的一切变化过程实际上都是微粒或粒子<sup>①</sup>的运动,它们无法被感知,在所有过程中一直保持实在和在质上不变。因此,“微粒理论”一词并未规定这些微粒彼此之间是否有质的差异,这种差异是有限多种还是无限多种,相似的微粒是否在量上也必然相等;也没有说明它们能否继续分割下去,或者能否影响彼此的状态,如果能够影响,又是以何种方式。

针对所有这些在概念定义中悬而未决的问题,第二种微粒理论给出了与恩培多克勒完全不同的回答,那就是阿那克萨哥拉

---

<sup>①</sup> “微粒”(corpuscle)的字面意思是“小的物体”,“粒子”(particle)的字面意思是“小的部分”。下文中我们一般不作区别。——译者注

(Anaxagoras)的“种子说”(homoimetric theory),它假定有无限多种拥有质的差异的不同元素,它们被分成许多微粒,而这些微粒又可以无限分割下去。

8. 第三种形式的微粒理论注定会对科学的发展产生极为深远的影响,那就是留基伯(Leucippus)和德谟克利特(Democritus)所提出的原子论。这种理论要比前面两种更接近于爱利亚派的基本思想,因为它保留了存在的质的统一性,而仅仅牺牲了量的统一性。原子论者将巴门尼德的存在之球(sphere of being)打碎,并把这些存在碎片撒入爱利亚派所说的非存在,即虚空<sup>①</sup>之中。就这样,他们为这种非存在指定了一种自身的存在性,而曾经唯一带有“存在”这一谓词的东西的碎片则保留了巴门尼德图景中整体所具有的质的均一性和不变性;此外,它们现在还被赋予了运动。除了空间上的广延以及与之密切相关的不可入性,它们没有任何其他属性;它们是同一存在的碎片[这一存在无法被进一步规定,或可称为原始物质(primary matter)],彼此之间的区别仅仅在于形状和大小。

在最初给这些微粒起的各种名称中,只有“原子”[本义为“不可分者”]最终保留下来,这个词的确表明了它们的一种典型属性;不过,“原子”没有表达出另一种同样典型的属性,即所有原子在质上是同一的,也没有表达出所有微粒的普遍特征,即内在的不变性。

---

<sup>①</sup> 译成“虚空”还是“真空”其实没有本质区别,但出于习惯,我们在下文一般把近代物理学之前的称为“虚空”,之后的称为“真空”。——译者注

根据原子论,和在恩培多克勒那里一样,可见物体的所有实体变化或质的变化都被归结为这些假想微粒的运动,而不同物体之间质的差异则被归结为原子的形状、大小、位置、排列和运动状态的差异。于是,恩培多克勒所说的四根不再是基本的,其属性也是源于特定的原子位形。

原子在无限的虚空中永恒地运动,逐渐形成了旋转的星体(原子论者对此过程描述不一),生成了各个世界。无数个世界同时和相继地形成,到一定时间又会再次分解为它们的各个组成部分。

9. 现在有必要稍事停留,作一讨论。希腊原子论者凭借着关于自然现象的极少知识,竟能勾画出如此宏富的宇宙图景,这种堂而皇之的无所顾忌着实令人吃惊。任何与这幅图景不合的事实,他们都轻率地不予考虑。这里的指导原则或动机很清楚:我们经常可以观察到物体的运动,在运动过程中,我们并未觉察到物体有明显改变,但物体的运动却能引起我们环境的某些变化;而生灭和质的变化等其他变化的原因我们是看不见的,如果假定原因在于无法觉察的不变微粒在微观世界中的运动,这自然会满足我们对因果解释的渴望。这种思想或许很原始,但它注定会在物理科学中取得最辉煌的胜利。因此,它也许表达了物质的一种本质属性。

还要注意,原子概念在历史上发生过重大变化:现代物理科学中所谓的“原子”与德谟克利特的“原子”除名称相同外几乎毫无共同之处。物理科学的最新发展并未证实这样一种期待,即再次发现原子的组分正是符合该词原义的[即“不可分的”]原子。德谟克利特的理论更像是与道尔顿(Dalton)联系在一起的经典科学的原子论,但即使在这里,差异也远远大于相似:道尔顿所假设的元素

原子之间质的差异是恩培多克勒式的,而非德谟克利特式的;同一种元素的原子在量上是相等的,这在德谟克利特的世界图景中并无对应,不可分性是德谟克利特的原子所共有的唯一特征。另一个典型区别是:道尔顿的原子代表着每种元素最小的可能的量,所以根据他的理论,原子的确是最小微粒;而在德谟克利特那里却绝非如此,既然没有理由认为大小会有下限(上限为不可见性所设定),那么无论原子多么小,都会有更小的原子存在,因此不可能谈及最小的原始物质微粒。

10. 德谟克利特的原子论的确能对一些物理现象给出似乎合理的解释:通过假设原子之间的小虚空(*vacua*)越少,物质的密度就越大,它能够解释不同物质的比重差异;同样,它也可以解释不同物质在硬度和可分性方面的差异以及物态变化。然而,它无法解释原子为什么会构成物体,而不是在空间中飘来荡去,后来被称为第二性质的那些物体属性,如颜色、味道、气味、声音、冷热等等,也完全无法得到说明。虽然通过假设形状各不相同的知觉不到的微粒占据着不同位置和做各种运动,的确可以解释表现于可知觉物体的形状、位置和运动状态的那些现象,但它显然无法解释知觉到的红色、甜味、香味、乐音如何可能产生于微粒的形状、位置和运动。我们至多只能假定知觉与原子过程之间存在着一种对应(例如假设知觉到热源于某种特殊原子的快速运动),但这样一来,科学从一开始就倾向于不去理睬这种对解释的需要,而不是试图满足它。

根据德谟克利特的一些说法,我们可以推断出他关于第二性质的看法。既然经验表明,第二性质不仅依赖于物体(第二性质被

认为产生于物质的流射[material emanation]),而且也依赖于感知者的状态(例如健康人尝起来甜的食物,病人可能觉得苦),否认其客观实在性似乎是理所当然的。然而,一旦某种知觉显示出主观性,就已经足以使希腊的前苏格拉底思想家认为它不是真理,而是意见了。结果,就像在巴门尼德那里一样,它被宣布为仅仅是一种幻觉,而这恰恰将第二性质的问题从哲学思辨中消除了。事实上,科学思想的发展一直有一个显著特点,那就是最直接的东西反而往往最晚才成为研究对象,比如在我们周围的世界,距离最远的东西反而最先得研究:天文学比物理科学更古老,天文学和物理科学又比心理学更古老。

11. 德谟克利特将其唯物论宇宙观贯彻到底,认为人的灵魂(这个词在这里指生命本原,而不是指假想的意识承载者)也是由某种光滑的球形微粒所构成,甚至诸神(指半人半神的精灵,他们比人更难毁灭,但和人一样都是有朽的)也是由暂时的原子复合体构成的,因此毫无疑问,有一种协调性的指导原则在支配着宇宙,原子运动可能最终趋向于一个目的。万事万物都取决于无数原子无尽的位形和源源不绝的运动。说万事万物的发生都出于自然的必然性,<sup>①</sup>这无异于说万事万物都服从于盲目的偶然性,因为这种铁定的必然性的运作从根本上说是无法理解的。作为自然解释原则的德谟克利特的唯物论自发地导致了一种无神论的世界观。我们将会看到,这一后果大大影响了其体系的命运,从而影响了科学的历史进程。

---

<sup>①</sup> Leucippus. Diels 54 B 2.

12. 我们前面把德谟克利特的原子论描述为一种特殊类型的微粒理论,这种类型有时被更确切地称为一种“机械论的(mechanistic)微粒理论”。在这一语境中,“机械论”表达的是这样一种观念,即微粒只有通过直接接触才能彼此发生作用,比如碰撞时的冲击力,持续接触时的推拉力等等。因此,像引力和斥力那样的超距作用以及像恩培多克勒的爱憎那样的精神作用是排除在外的。

“机械论”的这种用法并不暗示与机器概念有任何关联。事实上,说到机器,我们想到的是一种有意设计的工具,通过它来实现某种明确的目标,其机械的、无灵魂的特征仅仅是由于,只要提供必要的动力它就可以自行运转。然而,这在任何方面都与德谟克利特的世界图景相反。“机械论”在这里所要表达的意思是,原子的运动由力学定律所支配,除了两个物体相互接触时施加的那些力之外,它不承认其他任何力。我们将会看到(IV:283),在力学的发展过程中,的确有一个时期普遍持这种观点。

13. 即使是在原子论作为一种解释性的理论完全遭到拒斥的时代,原子论也没有被彻底遗忘,不过,这首先并不是因为其奠基者的著作,因为这些著作早已遗失,其内容只能由这一理论的反对者(主要是亚里士多德)的论战性著作的相关论述间接推断出来。原子论之所以能持续引人关注,是因为希腊哲学家伊壁鸠鲁(Epicurus)把它用做自己伦理体系的科学基础,结果,原子论也因为斯多亚派(Stoics)和基督徒激烈反对伊壁鸠鲁体系而受到牵累。它之所以能够留存下来,更大程度上是因为罗马诗人卢克莱修(Titus Lucretius Carus)的伟大诗作《物性论》(*De rerum natura*)正是以它为主题。卢克莱修用优雅的诗体讲述了这个看似了无诗