

物理学とは
何だろうか

*Sin-Itiro
Tomonaga*

物理
是什么

[日]朝永振一郎 著
周自恒 译



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING 图灵新知

[日]
朝永振一郎
著

周自恒
译

*Sin-Itiro
Tomonaga*



物理是什么

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

物理是什么 / (日) 朝永振一郎著 ; 周自恒译. --
北京 : 人民邮电出版社, 2017.6
(图灵新知)
ISBN 978-7-115-45330-3

I. ①物… II. ①朝… ②周… III. ①物理学 - 普及
读物 IV. ①O4-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第066051号

内 容 提 要

本书为日本著名物理学家、诺贝尔物理学奖得主朝永振一郎先生的物理启蒙科普作品, 书中以思索“物理是什么”为线索, 以宏阔视野、精深笔触, 通俗讲述了从早期哲学思辨到炼金术、占星术, 再到近代科学的物理体系的发展, 并重点讲解了物理发展过程中的核心原理。同时, 书中还收录物理大师朝永先生关于物理的反思, 以及对科学与文明关系的思考, 是重新认识物理的不朽名作。

-
- ◆ 著 [日] 朝永振一郎
译 周自恒
责任编辑 武晓宇
装帧设计 broussaille 私制
责任印制 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 880 × 1230 1/32
印张: 8.75
字数: 202 千字 2017 年 6 月第 1 版
印数: 1—5 000 册 2017 年 6 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记号 图字: 01-2016-3968 号
-

定价: 49.00 元

读者服务热线: (010)51095186 转 600 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315
广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147 号

目 录

序 章	1
第一章	13
1. 开普勒的摸索与发现	15
火星之谜与开普勒 (20)	
开普勒定律的提出 (27)	
2. 伽利略的实验与论证	37
惯性定律 (42)	
自然规律与数学 (49)	
3. 牛顿树立的丰碑	55
以变化的相研究运动 (57)	
牛顿力学的特质 (62)	
万有引力 (69)	
4. 科学与宗教	73
5. 从炼金术到化学	78
第二章	85
1. 技术进步与物理学	87
2. 瓦特的发明	91
3. 论火的动力	96
4. 热力学的确立	108
“卡诺定理”的复活 (109)	

热定律的数学化	(115)	
熵的概念的诞生	(132)	
熵增原理的推广	(141)	
第三章		147
1. 近代原子论的建立		149
道尔顿的原子论	(151)	
气体定律与化学反应定律	(156)	
2. 热与分子		161
热的载体是什么	(161)	
热学的量与力学的量	(165)	
分子运动的无序性	(169)	
3. 热的分子运动论的艰辛之路		177
麦克斯韦的统计方法	(178)	
对熵的力学认识	(187)	
洛施密特的质疑	(192)	
力学定律与概率	(195)	
平均总时间(停留时间)	(202)	
以各态历经性为支点	(207)	
对洛施密特的质疑的解答	(216)	
对物理学生的补遗	(223)	
20 世纪的大门	(230)	
科学与文明		237

序 章

在我们如今的生活中，处处都可以见到物理学的影子。就拿我写这本书所在的这幢公寓的小房间来说，天花板上的荧光灯发出亮光，书架上摆放着电话、收音机和磁带，角落里的电冰箱发出微弱的声响，灶台上的换气扇在不停地转动。往窗外看，数根电线架在电线杆之间，电流在电线里穿梭，传递着能量和信息。再看对面的一幢大楼，楼顶上高高竖立着特高频通信天线，下面还可以看到一个水箱，电机将水从下面抽上来，蓄积在这个水箱里。不管是对面那幢楼，还是我现在所在的这幢楼，它们的外墙之中都有钢筋，这些钢筋都要按照物理学方法测量其强度，然后再根据物理学定律进行计算并组装起来，这样才能够支撑起建筑物以抵御地震和强风。物理学这一学问已经成为支撑现代文明的骨架，我们一分一秒都离不开它。

既然我们身边很多东西都是拜物理学所赐，那么物理学到底是一门怎样的学问呢？它又是在什么时候、在哪里、由谁提出来的呢？现在那些被称为物理学家的人们，又是在为了什么而做着什么样的工作呢？这些工作又会在将来为我们带来些什么呢？

物理学家在创立物理学时离不开数学的帮助，在数学中，一般先要对其探讨的对象进行定义。当然，近代数学中也可以不定义对象，而是以无定义的公理系统作为起点。然而，对于物理学来说，我们既不可能对它进行定义，也不可能对它建立一个公理系统。因为物理学这一学问，从创立至今一直在不断变化，将来也应该会继续变化下去。

不仅是物理学，科学本身亦是如此，无论在哪个时代，都是在前人的基础上进行积累和发展的。有时候，我们会继承前人的观点，并将其打造得更加完善；有时候，我们则需要打破前人的狭隘思想，

开辟出新的天地——科学就是这样不断变化的。因此，在这样的变化过程中，物理学家究竟以怎样的方式做过什么，或者说正在做着什么——这样的问题我想应该还是可以回答的。

话说回来，尽管我们无法给物理学下个定义，但还是需要对它所探讨的对象以及大致的游戏规则和势力范围作一些规定。当然，这些要素也是不断变化的，在这里，我们暂且认为物理学是这样一门学问：

以观察事实为依据，探求我们身处的自然界中所发生的各种现象——但主要限于非生物的现象——背后的规律。

之所以说“主要限于非生物”，而没有完全将生物排除出去，是因为现在有一门学问叫作“生物物理学”，大家可能也都听说过。此外，“以观察事实为依据”这句话，是为了强调物理学不是一种以纯粹思辨为依据的学问。至于“自然界”“现象”“规律”，以及“背后”“观察”“思辨”这些词具体是什么意思，这里暂且不作定义，大家以自己的常识理解就好。就像以无定义的公理系统为起点的数学一样，本书不妨更进一步，斗胆通过讲述这些无定义概念的故事，对“物理是什么”这一问题做出回答。

那么，物理学这个游戏到底是从什么时候开始，在什么地方确立了其最基本的游戏规则呢？大多数学者都认为是在16世纪到17世纪的欧洲。正如前面所提到的一样，物理学这一学问也是在前人的学问的基础上发展起来的，这一点毋庸置疑。不过，在物理学出现之前，对于自然规律的探索并不都是以观察事实为依据的，这其中包含仅通过纯粹的思考来确立观点的思辨主义或神秘主义的哲学、相信任何现

象都是神的旨意的宗教，以及自然哲学等学问。除此之外，还包括一些我们现在已经不认为是学问的东西，例如巫术和魔法。

话说回来，尽管巫术和魔法现在已难登学问的大雅之堂，但无论是物理学，还是它的兄弟化学，在它们的发展过程中，巫术和魔法都扮演了不可忽视的角色。具体来说，占星术之于物理学，炼金术之于化学，它们之间都有着剪不断的密切联系。

自从人类知道如何冶炼金属，以及如何预测日食和月食开始，应该说就已经有了炼金术和占星术的雏形。不过，炼金术和占星术形成后来在欧洲流行的体系，一般认为应追溯到公元前 2 世纪到公元前 1 世纪时期，位于尼罗河口的亚历山大港。

亚历山大港据说是由出身古希腊边境马其顿地区的亚历山大大帝所开创的城市。亚历山大大帝统一了当时处于内战纷争之中的各个古希腊城邦，也许是为了巩固其成果，他决定继续出兵征讨希腊的宿敌波斯，不但击败了波斯国王大流士三世的军队，还将远征的脚步拓展到印度西北部，这段历史恐怕大家都有所耳闻。亚历山大大帝在埃及的尼罗河口用自己的名字建立了一座城市，时间大约在公元前 4 世纪左右，这座城市背靠尼罗河三角洲的沃土，面向宽广的地中海，凭借优越的地理条件，逐步形成了连接地中海沿岸、波斯、阿拉伯和印度的贸易网络，造就了一个繁华的国际化大都市——亚历山大港。而且，这座城市的创始者亚历山大大帝年少时，他的父王曾请到雅典哲学家亚里士多德做他的家庭教师，因此亚历山大大帝十分热爱学术，他在亚历山大港建立了学校和大图书馆，大力鼓励学术发展。

亚历山大大帝死后，执政官托勒密一世在此建立了新王朝，但统治者对学术的热爱以及对学者的优待依然不减，希腊本土的很多学者

也开始移居至此，可以说古希腊文明的中心已经从雅典转移到了亚历山大港，希腊化文明（Hellenistic civilization）开始结出硕果。活跃于此的古希腊学者包括以几何学闻名的欧几里得、创立圆锥曲线¹理论的阿波罗尼奥斯，以及以提出地心说而闻名于世的克劳狄乌斯·托勒密。此外，传说亚里士多德也经常从雅典到此地访问。

除了希腊派学术思想之外，亚历山大港自然也兼容并包了波斯、阿拉伯等东方派，以及埃及本土派的思想。这些思想相互融合，最终产生了一种不可思议的混合体，混合了金属冶炼和天文观测技术，古文明中的思辨主义、神秘主义和巫术，再加上人们内心深处的欲望和不安，它们相互纠缠交错，形成了一团黏糊糊的奇怪的东西，这就是我们称为炼金术和占星术的东西了。一般认为，炼金术和占星术大约是在 12 世纪左右才经过罗马传入欧洲的。

后来，炼金术和占星术在欧洲遍地开花，据说 16 世纪时，欧洲几乎每一位诸侯都有自己的占星术士。当时的政治形势十分不稳定，当需要做出重大决策时，他们就会通过占星术来决定应该如何行动。其中最有名的，莫过于首都位于布拉格的神圣罗马帝国皇帝鲁道夫二世（Rudolf II, 1552—1612）了。鲁道夫二世是炼金术和占星术的狂热拥趸，他在皇宫旁边建造了一座大研究所，并从整个欧洲招募炼金术士和占星术士，让他们到这里来开展研究。鲁道夫二世之所以要建立这样一座研究所，是因为占星术可以帮助他维持政权，而炼金术可以炼金以改善财政，不过这位皇帝的脑子貌似有点问题，据说最后变得疯疯癫癫的。尽管如此，或者说正是因为如此，他对天文学的进步作

1. 圆锥曲线是指将圆锥体用刀切开之后所得到的曲线。圆、椭圆、双曲线、抛物线都属于圆锥曲线。相对于以直线和圆为对象的欧几里得几何学，阿波罗尼奥斯所发展的几何学是以这些圆锥曲线为基础的。

出了巨大的贡献。这样的说法看起来有点怪，但从某种意义上来说，这也正是历史的有趣之处吧。

这到底是怎么一回事呢？原来，为天文学带来划时代发展，并在真正意义上为近代物理学诞生奠定基础的德国学者开普勒（Johannes Kepler, 1571—1630），正是在鲁道夫二世的庇护下，也是在这位皇帝的研究所里，完成了他的伟大发现。

自然现象的背后必然存在一定的规律，而人们最早注意到这一点，正是通过观察天体的运动。事实上，尽管方法十分原始，但人类进行天体观测，并由此创立天文学这门学问，这一历史可以追溯到有史料记载之前的上古时代。例如，中国等东方文明和古埃及文明自不必说，美洲大陆的印加和玛雅遗迹中也发现了明显是用于天文观测的建筑物痕迹。人们找到天体运行的规律之后，发现通过这些规律可以预测星星的运行，于是他们就想，能不能用这些规律来预测地上人类世界中的各种事件呢？对于生活在充满不安的世界中的古代人来说，抱有这种朴素的愿望也是无可厚非的。

后来，人们发现地上世界的气候变化与天体运行之间有着密切的联系，于是利用这一经验发明了历法。历法为人们带来了巨大的益处，于是人们就会自然而然地相信，一定存在某种占卜的方法，能够将天体运行与更广泛的事物联系起来，例如人的命运以及社会事件。

然而，即便抛开这种愿望，当我们仰望夜空中那些严格按照规律运行的繁星时，都会被这种深邃的神秘感所触动，亲身体会到在自然的最深处，一定有什么巨大的力量让这些星星准确无误地运行着。我们不禁发问，支配整个自然界运行的那最深处的规律到底是什么？正巧，星星的运动是自然现象中规律性最强的，因此从上古时代，人们

就开始不断探索星星运动的规律，并以此探求那个终极问题的答案。而且，这一探求并非满足于肉眼所看到的天体运行这一现象层面的规律，而是更进一步达到了探索世界构造，也就是我们现在所说的宇宙学²的层面。

为了寻找问题的答案，我们刚才提到了亚历山大港的天文学家托勒密所创立的天文学模型，也就是地心说，这是一种以地球为中心的宇宙理论。根据这一学说，有七颗行星在围绕地球运行，分别是月球、水星、金星、太阳、火星、木星和土星，它们的运行方式是由两个圆周运动叠加而成的复合圆周运动。托勒密将其宇宙理论写成了一部长达 13 部的长篇大论，我在这里也无法具说其详，不过大体上可以理解成下面这个样子。

想必大家应该知道，我们在天上所看到的星星中有恒星也有行星，恒星在天上排列成固定的形状（即星座）一齐转动，这就好像有一个巨大的球把我们包裹在里面，这个球不停地转动，而恒星就附着在这个球的表面。星座不但形状固定，其位置也是固定的，和地面上观测的地点和时间无关，这就暗示了地球位于这个天球的中心。相对地，行星的位置不是一成不变的，它们穿行于星座之间，有时与星座同向运行，有时又与星座反向运行。行星在天球上的运行轨迹是曲折往复的，这意味着它们并不是单纯地围绕地球做圆周运动。

因此，托勒密提出，行星的运动是由两个圆周运动组合而成的。具体来说，他首先想象有一个以地球为圆心的大圆，然后再想象有一个圆心位于大圆上，并绕大圆转动的小圆，而行星则在这个小

2. 现在我们所说的“世界”一般指的是地球，但在当时“世界”这个词指的是宇宙。

圆上转动。其中，小圆叫作“本轮”（epicycle），而大圆叫作“均轮”（deferent）。这个模型看起来过于复杂，而且有明显的人工痕迹，但在当时的观测水平下，人们所能够看到的天球面上的所有行星运动³，都可以用这个模型来解释。

托勒密提出地心说是在公元2世纪左右，这一学说在提出之后相当长的一段时期里都占据着统治地位，大多数人都信奉这一学说，直到16世纪哥白尼（Nicolaus Copernicus, 1473—1543）提出了日心说，才动摇了它的地位。

正如大家所知，哥白尼的日心说是一个以太阳为中心的世界观，其中水星、金星、地球、火星、木星和土星都围绕太阳运行。如果要用一句话来概括哥白尼的学说，那就是行星之所以在天球面上时而顺行时而逆行，并不是由托勒密所说的那种复合圆周运动所导致的，而是因为我们观测它们时所处的地方，也就是地球本身，同样是在运动的。进一步说，我们所看到的天体的周日运动，实际上是由于地球自转而产生的视觉现象；而天体的周年运动，则是由于地球公转而产生的视觉现象。尽管地球也在运动，但星座的大小看起来是不变的，这是因为天球本身非常大，所以相对而言，我们可以认为地球始终处于天球的中心位置，这就是哥白尼学说的内容。

如果从纯粹的数学角度来看，哥白尼的学说相当于将观察天体的视点从地球转移到了太阳，这样一来行星运动就从复合圆周运动变成了简单圆周运动，仅此而已。实际上，哥白尼发表该学说的著作序文中有这样一段前言，大意是说地心说和日心说在本质上并没有区别，

3. 这里所说的天球面上的行星运动，并不是指我们每天看到的东升西落的运动，而是指行星与天球之间的相对运动。以太阳为例，行星运动并不是指太阳每天从我们头顶划过的这种运动，而是指太阳每过一年回到天球上的初始位置的运动。

这段话是这样说的：

天文学并非试图寻找行星不规则运动的“原因”，即便找到了该原因，也并非意味着要将其当作真理去说服他人，而只是为天文学家计算天空中日月星辰之运行提供正确的基础，因此如果对天球上所见的同一运动存在不同的假说，则天文学家将选择其中更容易解释的一种。

当然，一般认为这段前言并非出自哥白尼本人，而是出版该著作的神学家安得利亚斯·奥西安德尔（Andreas Osiander）在出版时加上去的。我们不知道这段话到底是这个人的真实观点，还是为了回避来自教廷的压力而为之，无论如何，至少哥白尼本人相信自己的工作比单纯的“容易解释”更有价值。事实上，哥白尼的学说包含了托勒密学说中所没有的一个重要元素，因此比后者的内容更加丰富。

关于这个重要元素，我们将稍后探讨，但无论如何，日心说不仅提出了一个比地心说更加简洁的世界观，同时将人类观察自然的视点从地球这一狭隘的世界中解放出来。这一点堪称是革命性的，称日心说标志着近代天文学的开端也正是因为这一点。在哥白尼发表其学说半个世纪之后，日心说才被真正赋予了超越“容易解释”“内容丰富”的意义，后来开普勒提出了他的理论，为牛顿的工作奠定了基础。

刚才的内容似乎已经偏离了占星术的话题，然而天文学得到如此发展的背后，占星术多多少少扮演了一定的角色。很多例子可以佐证这一点，据说托勒密在当时是一位颇具威望的占星术士；刚才我们提

到的天文学家开普勒，他可谓是时代的宠儿，为探求行星运行的规律倾注了毕生的心血，最终提出了沿用至今的开普勒定律，而这一切的起点也是因为占星术。

然而，我们需要关注的并不是开普勒的动机，而是他能够完成这一伟大发现的原因，这是因为他的研究方法和前人相比有着根本性的不同。古代哲学家所提倡的自然哲学大多不以观察作为依据，而是带有思辨所伴随的强烈的神秘主义色彩，开普勒自身也像前人一样，时常在神秘主义的森林中迷失方向。然而，引领他完成这一伟大发现的并非这样的思辨，也不是巫术，而是以准确的观察事实为依据进行严密的数学推理，这种方法是在前人身上难得一见的，而这也正是近代物理学所采用的方法。与他同时代的另一位学者伽利略（Galileo Galilei, 1564—1642）所主张的“实验”，也是一种前人所未能重视的强力武器。后来，新一代学者牛顿（Sir Isaac Newton, 1642—1727）将伽利略的“实验”与开普勒的“观察”相结合，奠定了“以观察事实为依据探求自然规律”这一物理学的特质。我刚才曾说，物理学这门学问是在16世纪到17世纪确立的，指的正是这件事。

刚才我们简单梳理了自然哲学如何从原始的哲学中脱胎出来形成了物理学，又如何洗去身上的巫术和魔法痕迹。然而，为了让大家更明确地理解古代自然哲学与物理学之间特质的差异，我们需要对开普勒、伽利略和牛顿的工作和思想进行更具体的阐述，这也是后面的章节所要涉及的内容。正如大家所知，伽利略曾因异端嫌疑在罗马教廷接受审判并被判有罪，因此我们的话题必然要涉及宗教与物理学的关

系。然而，宗教与科学的关系这个命题对我来说有些过于庞大了，因此对于这个问题，我们只能浅尝辄止。

物理学的特质得以明确的 16 世纪到 17 世纪到底是怎样一个时代呢？到底是离我们很近还是很遥远呢？也许大家对于这个时间无法一下子产生具体的印象，因此我来列举同时期日本所发生的一些事件，供大家参考。哥白尼提出日心说是在 1543 年，这时火炮刚刚传入日本。此外，德川时代的数学家关孝和与牛顿正好是同一时代的人物。开普勒和伽利略位于上面两个年代的中间，当时日本正好是丰臣家灭亡，德川家兴起的时候，在牛顿诞生三年之前，日本进入了锁国时代⁴。物理学就是在这样一个时代从欧洲发展起来的。

4. 如果对应中国历史的话，哥白尼提出日心说时是明朝嘉靖年间，开普勒和伽利略对应明的衰落和清的兴起，而牛顿生活的年代则对应清朝顺治到康熙年间。——译者注