

科学源流译丛 ③

新物理学的诞生

The Birth of a New Physics

[美] I·伯纳德·科恩 著

张卜天 译

 湖南科学技术出版社

科学源流译丛 ③

新物理学的诞生

The Birth of a New Physics

[美] I·伯纳德·科恩 著

张卜天 译

 湖南科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

新物理学的诞生 / (美) 科恩著 ; 张卜天译. -- 长沙 : 湖南科学技术出版社, 2010.9

(科学源流译丛)

书名原文: The Birth of a New Physics

ISBN 978-7-5357-6115-6

I. ①新… II. ①科… ②张… III. ①物理学史—普及读物 IV. ①04-09

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 052756 号

The Birth of a New Physics

© 1985 by I. Bernard Cohen

© 1960 by Educational Services Incorporated

湖南科学技术出版社通过博达著作权代理有限公司获得本书中文简体版中国大陆地区出版发行权。

著作权合同登记号: 18-2010-004

科学源流译丛

新物理学的诞生

著 者: [美] I. 伯纳德·科恩

译 者: 张卜天

责任编辑: 孙桂均 吴 炜

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系: 本社直销科 0731 - 84375808

印 刷: 长沙化勘印刷有限公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 长沙市青园路 4 号

邮 编: 410004

出版日期: 2010 年 10 月第 1 版第 1 次

开 本: 630mm×960mm 1/16

印 张: 16

书 号: ISBN 978-7-5357-6115-6

定 价: 38.00 元

(版权所有·翻印必究)

总 序

现代人的喜怒哀乐、现代社会不断涌现的观念思潮和种种现象，都与现代性问题有千丝万缕的深层联系。每个人都被现代化的洪流裹挟着前进，但往往置身其中而浑然不觉。我们对现代世界的概念体系和思维模式早已习以为常，几乎难以设想其他世界观存在的可能性。对于现代化所产生的问题，我们往往沿用其固有的逻辑和方法短视地加以解决，而没有意识到应当从整个事情的根本处进行反思。对现代性的反思紧迫而又艰难。

中国学术界近二十年来从西方政治、社会、文化、伦理等角度对现代性进行的反思已经有了一定基础，但是来自西方科学视角的反思严重滞后。毋庸置疑，对于现代文明和现代性的塑造，近代以来的科学技术起着最大的作用。在西方思想史上，许多新观念的产生都与科学的变革有直接或平行的关系。不了解科学的发展及其思想背景，就很难看清西方思想发展的契机或原动力，也很难理解现代性的根源。致力于西方科学史特别是西方近代早期及之前科学史的研究，可以说是改变这种局面的唯一途径。

然而我国的西方科学史研究才刚刚起步，近代早期及之前的研究更是几近空白。面对西方已经开展了一百多年的科学史学术研究，目前我

们只能沉下心来，老老实实从一点一滴学起，从翻译引介经典著作开始。西方科学史领域的书籍目前是我国图书市场上最为稀缺的品种之一，优秀作品更是凤毛麟角，这与西方科学史文献的汗牛充栋形成了强烈反差。在这种情况下，最紧迫的任务是尽快翻译出一批高质量的经典著作，尽可能地扩展我们的视野，搭建起科学史研究的基本学术平台。

有鉴于此，我们决定翻译出版“科学源流译丛”。本译丛希望能够选择一些具有纯正学术品位和独特视角的书籍，为研究西方科学、历史、宗教、文化的学者提供重要的参考资料。它既包括经典原著，又包括研究著作，既有适合一般读者的普及性作品，又有较为艰深的专业著作。编者特别注重思想史或文化史，希望入选的著作能够揭示科学思想所植根的哲学、宗教等思想文化背景。本译丛还比较偏重 18 世纪之前的内容，向前延伸至中世纪和古希腊。这是因为，现代世界的基本思想框架是近代早期奠定的。它酝酿于中世纪晚期和文艺复兴时期，完成于 16、17 世纪的近代科学革命和哲学宗教巨变。

追根溯源是历史研究的基本任务，研究西方近现代科学的起源更是西方科学史的基本任务。人类文明越到后来就越显繁复，五光十色的外表反而掩盖了包含于其中的某些永恒不变的基本问题和精神要素，而早期形态则往往更容易彰显其本色，文明之间的对话也更容易展开。在这个由科学昌明带来的兴盛与危机并存的时代，厘清科学的“源”与“流”已是当务之急。本译丛以“科学源流”为名，也是为了凸显这种意味。在此，我们诚挚感谢湖南科学技术出版社对本译丛的理解和支持。在一个躁动和功利的时代，每一份支持学术的真诚心意都特别值得感铭和珍惜。

归根结底，研究西方科学史的真正目的还是为了更好地理解和反思我们当前的处境，照亮前进的道路。时代发展到今天，我们越来越真切地感受到，东西方文化只有互相参照，才能更清楚地看到各自的

优点和缺点。科学史绝非科学的注脚，有心人自会从这些著作中咂摸出历史的奥妙，读解出思想的真意。在我们看来，关心思想的命运、人类的命运和世界的命运，乃是每一位有良知的学者应当铭记于心的天职。

张卜天

2009.9.24

前 言

《新物理学的诞生》适合普通读者、(研究科学、哲学或历史的)大中学生、历史学家、哲学家以及任何愿意领略科学的勃勃生机和冒险经历的读者阅读。我希望,通过了解科学革命如何达到高峰,牛顿力学和天体力学如何逐步产生,也能使科学家感到愉快和受益。 xi

本书的目的主要不是介绍通俗的科学史,也不是向一般读者展示新近的科学史研究成果,而是为了从一个侧面探讨那场发生在 16、17 世纪的伟大的科学革命,澄清近代科学的性质和发展的某些基本方面。一个重要主题是,物理科学环环相扣的结构如何影响了运动科学的形成。我们一再看到,自 17 世纪以来,物理科学任何一部分的重大调整必定会引起通盘改变;另一个结论是,孤立地或完全凭借自身去检验或证明科学命题一般来说是不可能的,每一项检验毋宁说是对相关命题外加整个物理科学体系的确证。

近代科学一直在发生变化,这种动态性是它的主要性质或独特性质。不幸的是,初等教科书和一般科学著作都强调逻辑呈现,这使得学生和读者很难真正理解这种动态性。因此,本书的另一个主要目的是试图表明,某一种观念在改变整个科学结构方面可能具有怎样的穿透力和深刻影响。 xii

本书不是一部科学的历史,而是关于科学发展中一个重要片段的历史短论,它并没有详细讨论近代动力学或天文学兴起的所有方面。例

如，我们只是顺便提及第谷对观测天文学的革新、开普勒的运动概念以及对运动原因的看法。笛卡尔的思想体系，包括基于涡旋的宇宙体系，则完全没有涉及。在许多方面，笛卡尔科学代表着 17 世纪新科学最具革命性的部分。完整的历史叙述还必须包括惠更斯、胡克等重要人物。

我要感谢巴黎高等研究实践学院和普林斯顿高等研究院的亚历山大·柯瓦雷 (Alexandre Koyré) 对我思想的启发，他是在学术研究中运用历史概念分析的大师。梅杰瑞·霍普·尼科尔森 (Majorie Hope Nicolson, 哥伦比亚大学) 使我们认识到“新天文学”特别是伽利略的望远镜发现的重大思想意义。在十多年的时间里，我曾经有幸与马歇尔·克拉盖特 (Marshall Clagett, 威斯康星大学；普林斯顿高等研究院)、约翰·默多克 (John E. Murdoch, 哈佛大学) 和爱德华·格兰特 (Edward Grant) 讨论了中世纪科学的许多问题，使我受益匪浅。在近四十年的时间里，爱德华·罗森 (Edward Rosen, 纽约城市学院) 的批评及其学术贡献使我得益甚多。后来，我又从诺埃尔·斯维尔德罗 (Noel Swerdlow, 芝加哥大学) 那里获得了对哥白尼科学的新的洞见。我还从阿尔伯特·范·海尔登 (Albert Van Helden, 莱斯大学) 那里了解到关于望远镜的历史及其早期应用的许多内容。特别要感谢斯蒂尔曼·德雷克 (Stillman Drake)，他多年来一直慷慨惠允我阅读他尚未发表的伽利略研究，回答我的问题，并对本书的打字稿进行了认真审读，先是 25 年前的第一版，现在是这个修订版。

xiii

《新物理学的诞生》的第一版献给我的女儿 Frances B. Cohen 博士，当时是为一套科学研究丛书所写。这套丛书是物理科学研究委员会所倡议的，旨在以新的方式促进物理学的教学、研究和理解。委员会主席最初是麻省理工学院的 Jerrold Zacharias，后来是 Francis L. Friedman。该委员会的成员 (尤其是 Bruce Kingsbury) 大大方便了本书第一版的写作；编辑 John H. Durston 特别为我着想，使我在写书过程中省去不少时间与

精力。美国杰出摄影家 Berenice Abbott 专为此书拍摄了插图 6 和插图 7，对此我十分欣慰。

第一版已经多次重印，曾被译为丹麦文、芬兰文、法文、德文、希伯来文、意大利文、日文、波兰文、西班牙文、瑞典文和土耳其文。最近的意大利文译本做了重大修订（包括爱德华·罗森提醒我注意的一些修正）。现在，时隔 25 年后，根据科学史特别是关于伽利略和牛顿的最新发展和发现，我又对正文做了许多修订，补充了许多新材料。但还有一些材料如果加入，可能会导致内容严重失衡，从而打乱原书的章法节奏。因此，我们把这些材料放在带有编号的附录中（在正文中有所提及），它们就学术界的某些关键议题作了扩充，对于对近代物理科学形成的某些重要阶段做出公允判断至关重要。

除了附录，这两版的最大区别体现在对伽利略的处理上。第一版问世后，我们已经得知（首先感谢托马斯·塞特尔 [Thomas B. Settle] 大胆再现了伽利略的一项著名实验），伽利略描述的实验实际上能够给出他所宣称的结果，学术界的观点也随之产生了重大转变。大家不再认为伽利略描述的仅仅是“思想实验”，这些实验他既没有做过，也不可能按照他所描述的方式做，而是开始将伽利略视为实验大师。其次，由于德雷克的学术努力，我们已经认识到，实验对于伽利略表述和验证运动原理的基本思想至关重要。

我非常高兴诺顿出版公司能出版这个新版。感谢公司的副总 Edwin Barber 对我的著作感兴趣。得知仍然有一个真正“老资格的”出版商珍爱书籍和作者，真是让人欣慰。

I·伯纳德·科恩

哈佛大学

坎布里奇，马塞诸塞州

1984 年 9 月 18 日

目 录

前言	1
第一章 地动物理学	1
落到何处	1
两种回答	3
需要一门新物理学	6
第二章 旧物理学	8
亚里士多德的常识物理学	8
物体的“自然”运动	10
“不朽的”天界	11
运动的因素	11
空气中的落体运动	15
地球不可能运动	17
第三章 地球和宇宙	19
哥白尼与近代科学的诞生	19
同心球体系	20
托勒密与本轮均轮体系	22
哥白尼的革新	27

哥白尼与托勒密	35
哥白尼宇宙的问题	38
第四章 探索宇宙深处	41
新物理学的演进	41
伽利略	42
望远镜：巨大的飞跃	43
月球景象	45
地球反照	50
繁星满天	51
木星的证据	58
新的世界	61
第五章 通向惯性物理学	67
匀速直线运动	67
火车烟囱和运动的船	68
伽利略的运动科学	70
伽利略的先驱	84
表述惯性定律	88
伽利略的困难与成就：惯性定律	99
第六章 开普勒的天体音乐	107
椭圆与开普勒的宇宙	108
三定律	115
开普勒与哥白尼派	119
开普勒的成就	121

第七章 宏伟的设计——新物理学	125
牛顿的预见	126
《自然哲学的数学原理》	129
惯性定律的最终表述	133
“宇宙体系”	134
神来之笔：万有引力	139
各方面的成就	148
关于牛顿第二定律两种形式的补充注释	157
附录 1 伽利略与望远镜	158
附录 2 伽利略“看到”天上有什么	161
附录 3 伽利略的自由落体实验	166
附录 4 伽利略运动科学的实验基础	168
附录 5 伽利略是否认为匀加速运动的速度与距离成正比	176
附录 6 假说-演绎方法	178
附录 7 伽利略与中世纪运动科学	179
附录 8 开普勒、笛卡尔和伽桑狄论惯性	181
附录 9 伽利略对抛物线路径的发现	183
附录 10 伽利略运动科学的主要发现概述	185
附录 11 胡克对牛顿的功劳：对曲线轨道运动的分析	188
附录 12 行星与彗星的惯性	191
附录 13 对由平方反比律导出椭圆行星轨道的证明	192
附录 14 牛顿与苹果：牛顿发现 v^2/r 定律	195
附录 15 牛顿论“引力”质量与“惯性”质量	197
附录 16 牛顿提出万有引力的步骤	201
进一步阅读建议	207
索 引	212

第一章 地动物理学

或许有些奇怪，大多数人对于运动的看法其实只是两千多年前提出的物理学体系的一部分，而且这个体系至少在 1400 年以前就被实验证明是有问题的。事实上，即使是今天受过良好教育的人在思考这个物理世界的时候，也都倾向于把地球看成静止的，而不是运动的。我并不是说这些人“真的”相信地球静止。果真问起来，他们一定会说自己当然“知道”地球每天自转一次，同时每年绕太阳公转一周。然而，如果让他们解释某些普通的物理现象，他们却无法说明这些现象如何可能在地球运动的情况下发生。这些物理学方面的误解大都集中在落体问题和一般的运动概念上。这恰恰例证了那句古老的格言：“不理解运动，就不理解自然。”³

落到何处

现代人假如无法在地球运动的情况下讨论运动问题，也许会自我解嘲说，古代的大科学家同样对此束手无策。然而，这其中有着巨大的差别：古代科学家无法解决这些问题是时代所致，而现代人缺乏这种能力却是无知的表现。17 世纪朝天炮木版画（插图 1）的描绘可说是这类问题的典型。请注意图中所提的问题：“它是否会落回原地？”假如地球是静止的，那么竖直向上射出的炮弹最后无疑会竖直落回炮膛。但如果地球在运动，它还会落回原地吗？如果会，为什么？这幅画实际上描绘⁴

了一个更加复杂的运动问题。需要注意的是，很早以前就有人拿竖直上抛或下落的物体的轨道性质来反驳地动观念。

假设地球在运动，那么向上射出的箭在上升和下落时必定随地球一起运动，否则它将落到离弓箭手很远的地方。传统回答可以解释说：由于空气必定随地球一起运动，所以箭在上升或下落时被空气裹挟着一起运动。然而反对者早就准备好了回应：即便假定空气在运动（这一假设其实是成问题的，因为并没有什么显然的原因规定空气必须随地球一起运动），但空气与地球的构成和性质差异这么大，空气的运动难道不会比地球慢很多吗？那样一来，箭不就被地球甩到后面去了吗？而且，假如地球真的在空间中疾驰，站在塔顶的人会感觉到多么猛烈的大风！

为了使这些问题更加明确，我们暂时不去考虑地球本身。毕竟，普通人也可以这样回答：至于从塔顶落下的小球在地球运动的情况下为何仍会落在塔底，我也许解释不了，但我的确知道被释放的小球竖直下落，的确知道地球在运动。这些现象必定存在某种解释，即使我不清楚它是什么。

现在考虑另外一种情形。假设我们能够制造某种快速行进的列车，速度可达每秒 20 英里（1 英里 = 1.609 千米）。一个实验者站在列车尾部，比如说最后一节车厢的平台上。当列车以每秒 20 英里的速度前进时，他从口袋里拿出一个重约 1 磅（1 磅 = 454 千克）的铁球，将它竖直上抛至 16 英尺（1 英尺 = 30.48 厘米）高。铁球上升和下落各需大约 1 秒。那么站在列车尾部的这个人移动了多远呢？由于他的速度为每秒 20 英里，所以此时他距离抛球处已经有 40 英里了。

此时我们的困惑和那幅朝天炮版画的作者有些相似。我们问，铁球会落到何处？是落到抛出地或抛出地附近，还是落到抛球者手边，以至于几乎可以把它接住，即使火车以每秒 20 英里的速度前进？假如你认为铁球会落在离火车数英里以外的铁轨上，那么你显然不了解地动物理

学。但是，如果你认为车厢尾部的人会接住这个球，那么你将面临一个问题：这位抛球者只给了球体竖直向上的力，而没有平行于铁轨的力，那么到底是什么“力”使这个球能够以每秒 20 英里的速度前进呢？（如果担心可能有空气摩擦，我们可以假定这个实验在一个密闭的车厢中进行。）

相信铁球在行进的列车上被竖直上抛后仍将直线上升和下降，从而落在列车后面很远的地方，这一信念与另一种关于物体运动的信念密切相关。这两种信念都是两千多年前物理学体系的一部分。如果一个人不能理解物体如何可能在运动的地球上竖直下落，那么他往往也不能肯定不同重量的物体下落会发生什么情况，所以我们现在来考察第二个问题。我们都知道，物体在空气中的下落情况跟它的形状有关。这很容易证明。你可以用四根线绑在手帕四角，再用四根线栓上一个小重物，这样就制成了一个降落伞。把手帕揉成一团抛到空中，你会发现它在空气中缓缓飘落。现在重新把它揉成一团，不过这次是用丝线把手绢和重物捆扎起来，使之不能在空气中展开，再次把它抛向空中，你会发现它将迅速坠落。重量相同、形状不同的物体下落速度不同。然而，形状相同、重量不同的物体又将发生什么情况呢？假如你站在高塔塔顶或者三层楼上，将形状相同、重量分别为 10 磅和 1 磅的两个球释放，那么哪个球会先到达地面呢？它会比另一个球领先多长时间？如果把这个例子中两个球体的重量分别改为 100 磅和 10 磅，那么下落时间差是否仍然一样？如果分别是 1 毫克和 10 毫克又将如何？

两种回答

物理学认识通常是这样发展的：先是相信，如果 1 磅和 10 磅的球同时下落，那么 10 磅的球会先着地，1 磅的球落地需要 10 倍的时间。之后是更为复杂的阶段，学生可能在初等教科书中得知，这个结论是没

有根据的，“正确的”回答应当是两球同时着地，无论其各自重量如何。前一种回答可称为“亚里士多德的”观点，因为它符合古希腊哲学家亚里士多德在公元前 350 年左右提出的物理学原理。后一种回答则例证了“初等教科书的”观点，因为它出现在许多这样的教科书中。有时我们甚至被告知，第二种观点已经由 17 世纪的意大利科学家伽利略所“证明”。这个故事的经典版本是：“伽利略在比萨斜塔上同时释放两个大小不同、材料也不同的球。他们（伽利略的朋友和同伴）看见两个铁球一起开始运动，一起下落，并听到它们同时落地。一些人心服口服，另一些人则回到屋里重新查阅亚里士多德的著作，讨论这一显而易见的事。”

然而，由 1400 多年前的实验我们就可以知道，其实“亚里士多德的”观点和“初等教科书的”观点都是错误的。让我们回到公元 6 世纪，当时拜占庭学者约翰·菲洛波诺斯（Joannes Philoponus）正在研究这个问题。他指出，对落体的通常看法与经验相抵触。他采取了一种现在看来相当“现代”的态度，主张基于“实际观察”的论证要比“任何类型的语词论证”有效得多。以下是他基于实验给出的论证：

如果从同一高度释放两个重量相差数倍的重物，我们会发现，运动所需时间之比并不取决于重量之比，时间差其实相当小。因此，如果重量差异并不是很大，比如两倍，那么所需时间将没有什么差异，再不然就是小得无法察觉，虽然它们的两倍重量差异绝非微不足道。

在这段论述中，我们找到了表明“亚里士多德”观点错误的实验证据，因为重量有显著差别（如两倍）的物体几乎是同时着地的。不过请注意，菲洛波诺斯同时也暗示，“初等教科书的”观点可能同样不

正确，因为他发现，不同重量的物体从同一高度落下，着地时间会略有差异，这种差异可能小到“无法察觉”。一千年以后，荷兰工程师、物理学家兼数学家西蒙·斯台文（Simon Stevin）也做了类似实验。他的描述如下：

有违亚里士多德观点的经验是这样的：正如勤勉而博学的自然奥秘探究者德赫罗特先生（Jan Cornets de Groot）和我所做的那样，取两个铅球，其大小和重量均相差 10 倍，将它们从 30 英尺高的地方一齐释放，使之落在木板或明显可以发出声响的东西上。我们会发现，轻球的下落时间并非重球的 10 倍，而是差不多同时落在木板上，几乎无法辨别声音的先后。

斯台文显然更有兴趣证明亚里士多德的错误，而不是力图辨别是否有微小的时间差异。倘若他从更高的地方释放重物，那么这种差异可能会更加显著。因此，他的报告并不像 6 世纪末菲洛波诺斯的那样精确。他没有考虑小的（但也许是“无法察觉的”）时间差异。

伽利略更为审慎地做了这个实验，他最终的报告如下：

我作过检验，我可以肯定地对你说，重量为一两百磅甚至更重的炮弹到达地面时，重量仅为半磅的与之同时下落的滑膛枪子弹并不会落后一大截，倘若两者都是从高度为 200 腕尺（1 腕尺 = 45.72 厘米）的地方落下来的话……大物体超过小物体两英寸（1 英寸 = 2.54 厘米），也就是说，当大物体到达地面时，小物体还差两英寸没有到。