



世界物理学史

董光壁 田昆玉／著

自然科学史丛书

00014532

04-091
02

世界物理学史

董光璧 田昆玉 / 著



C0490900

吉林教育出版社

(吉)新登字02号

自然科学史丛书 世界物理学史

董光壁 田昆玉 著

责任编辑: 阙家栋

封面设计: 曲 刚

出版: 吉林教育出版社	850×1168 毫米 32 开本 16.5 印张 6 插页 392 000 字
发行: 吉林教育出版社	1994 年12月第1版 1994 年12月第1次印刷 印数: 1—1 000 册 定价: 17.00 元
印刷: 长春新华印刷厂	ISBN 7-5383-2460-7/G·2198

丛书编辑委员会

主 编 杜石然

编 委 (按姓氏笔划为序)

白国才

汪子春

杜石然

吴凤鸣

杨文衡

董光壁

崔振华

潘吉星

序

物理学史一类的著作，对一般需求来说，中外文本的数量也算可观了，还有什么必要以《物理学史》为题写一本书呢？四年前，杜石然先生邀我找人合作为吉林教育出版社写这样的书时，我首先想到的就是这个难题。但想到它是作为一套科学史书不可或缺的一本，我也就应命了。也巧，当时我作为中国人民大学的客座教师，正在准备一个针对哲学系研究生的物理学史课程。于是这个讲稿的基本构架就成了我与田昆玉合作写这本书的讨论基础。

科学既是知识系统又是人类文化活动的—个领域，也是一种方法。物理学也犹如一道山脉，“横看成岭侧成峰”，我们选择了“方法”这一视角。如果说这本物理学史书有什么特点的话，那就是，以方法为纲重构历史。至于这种写法的利弊留待读者评判。

考虑到这书的结构可能令人误解，所以也在这里交待几句。首先，本书按思辨物理学、数学物理学、实验物理学、理论物理学、计算物理学排列编次，无意支解物理学整体，而是想要体现物理学发展历程的历史逻辑。其次，对于各种理论和人物叙述的“详略不均”，也不是根源于作者占有史料的限制和出于某种偏爱，而是想仿效电影艺术中的“广角”与“特写”、“连贯”与“推拉”手法，力图设计一幅动态的历史画卷。这种结构的效果究竟如何，只能等待读者的回应。

本书的写作充分注意到科学与社会、科学与哲学的关系，因此，“内史”、“外史”和“思想史”的“三合一”是本书的“色

调”。作者试图以这样的色调，不仅展示物理学发展的内在逻辑，而且展示这种发展的环境和动力。并且，在总体上，力图贯彻批判史学的精神，尽管书中并没有明显的批判章节。本书在方法上追随这种新的史学传统，但是，对于是否能够达到预期的效果也还难能自信。

说到写作风格，人们常说“文如其人”。作为作者的我们已经是50多岁的人了，几乎一切都已定格，写作风格自然也不例外。我们已养成“想自己所惑，说自己所想”的习惯。书中倘有脱略，亦非有意“革故鼎新”。我们尽力以区区拙作广纳同行的众多贡献。但因本书预想了包括非同行在内的一个广泛的读者群，还是不以“旁征博引”吓人为好，故而在正文中很少加注引文，而是书末给出文献目录。作者诚请中外学者，对于本书未能一一列出贡献者的各位，给予谅解。

我们深知自己远未熟悉物理学各个分支，在科学和史学两方面都自感不足。尽管对书稿一再修改，以求完善，终难保没有疏漏和差错，敬盼读者批评指正。

董光壁

1990年11月于北京

目 录

导论.....	1
§ 0.0.1 物理学的内涵和外延的变化	1
§ 0.0.2 物理学研究模式的沿革	4
§ 0.0.3 物理世界图象的变迁	8

第一篇 思辨物理学的传统

概述.....	12
第 1.1 章 哲学思辨的宇宙秩序原理.....	25
§ 1.1.1 生成论	25
§ 1.1.2 构成论	30
§ 1.1.3 象数论	37
第 1.2 章 探究自然的方法论传统.....	46
§ 1.2.1 数学主义传统	46
§ 1.2.2 逻辑主义传统	57
§ 1.2.3 实验主义传统	68
第 1.3 章 亚里士多德的物理学.....	76
§ 1.3.1 亚里士多德范式	77
§ 1.3.2 亚里士多德对运动的探究	80
§ 1.3.3 亚里士多德批判和运动的量化研究	85

第二篇 数学物理学的发轫

概述.....	92
---------	----

第 2.1 章 自然哲学同宗教神学的分离	100
§ 2.1.1 哥白尼的日心宇宙体系	102
§ 2.1.2 布鲁诺的无限宇宙观	109
§ 2.1.3 伽利略与教会	114
第 2.2 章 数学物理学的开拓者	124
§ 2.2.1 刻卜勒, 近代第一位数学物理学家	125
§ 2.2.2 落体定律, 伽利略的研究方式	129
§ 2.2.3 笛卡尔的数理科学观	141
§ 2.2.4 碰撞和摆的力学, 惠更斯的研究	145
第 2.3 章 牛顿的《原理》及其综合证明法	151
§ 2.3.1 牛顿的生平和著作	153
§ 2.3.2 《原理》的公理化体系	156
§ 2.3.3 万有引力定律的论证	160
第 2.4 章 力学的数学分析方法的形成	169
§ 2.4.1 坐标几何学和微积分学的创立	171
§ 2.4.2 欧拉, 从综合法到分析法的过渡	178
§ 2.4.3 运动积分和守恒定律, 达朗伯	184
§ 2.4.4 拉格朗日, 变分法和最小作用原理	193

第三篇 实验物理学的确立

概述	202
第 3.1 章 实验理性的发展	215
§ 3.1.1 实验与科学论证: 早期的真空研究	217
§ 3.1.2 实验与理论: 牛顿的分光实验	225
§ 3.1.3 狄德罗及其实验物理学纲要	232
第 3.2 章 实验物理学的数学化	241
§ 3.2.1 拉瓦锡和拉普拉斯的合作	242

§ 3.2.2	库仑定律的发现	249
§ 3.2.3	阿尔克伊学社和拉普拉斯学派	257
§ 3.2.4	傅立叶和现象论物理学	264
第 3.3 章	科学测量理论基础的奠基	281
§ 3.3.1	误差理论的奠定	283
§ 3.3.2	量纲理论和单位制的建立	288
§ 3.3.3	引力常数和光速的测量	293
第 3.4 章	实验室的制度化	303
§ 3.4.1	实验室近代化的历程	303
§ 3.4.2	大学物理实验室	308
§ 3.4.3	工业实验室和国家实验室	312

第四篇 理论物理学的展开

概述.....	318
第 4.1 章 气体物理学和统计方法的引进.....	332
§ 4.1.1 气体的经验定律和热的唯象理论	332
§ 4.1.2 从分子运动论到统计力学	340
§ 4.1.3 动力学方法和统计力学方法	350
第 4.2 章 场物理学的延拓.....	358
§ 4.2.1 法拉第和电磁场理论	359
§ 4.2.2 狭义相对论和电磁场的时空结构	368
§ 4.2.3 从量子论到量子场论	378
第 4.3 章 引力场理论和宇宙学.....	388
§ 4.3.1 广义相对论的创立	391
§ 4.3.2 现代宇宙学的兴起	397
§ 4.3.3 爱因斯坦和统一场论	404
第 4.4 章 粒子物理学和基本相互作用的统一.....	414

§ 4.4.1	粒子物理学的诞生	414
§ 4.4.2	弱相互作用和强相互作用的发现	419
§ 4.4.3	规范场理论和基本相互作用的统一	427

第五篇 计算物理学的兴起

概述	434
第 5.1 章 混沌物理学	441
§ 5.1.1 混沌的发现	442
§ 5.1.2 分形几何学和混沌	454
§ 5.1.3 符号动力学和混沌	460
第 5.2 章 孤子物理学	465
§ 5.2.1 孤子的发现	465
§ 5.2.2 非线性方程和孤子	469
§ 5.2.3 孤子和粒子	474
第 5.3 章 分子动力学	477
§ 5.3.1 长时尾的发现	477
§ 5.3.2 古典分子动力学的发展	483
§ 5.3.3 量子分子动力学	487

结 语

§ 6.0.1 相对论与量子论的相容和对立	491
§ 6.0.2 物理时空变革的必要和可能	495
§ 6.0.3 EPR 关联和非定域性	496
§ 6.0.4 测量和物理实在	499
参考书目	502

导 论

物理学的内涵和外延的变化

物理学研究模式的沿革

物理世界图象的变迁

现代意义的物理学的主要任务是，依据观察和实验所获得的事实，运用数学和符号系统，合乎逻辑地构造物理世界图象。这种思想的产生和形成以及物理世界图象的变迁，构成了物理学思想的主流。在这个意义上考察物理学的发展，我们可以把它概括为五种历史形态：思辨物理学、数学物理学、实验物理学、理论物理学和计算物理学。伴随着这个历史过程出现过四种物理世界图象：力学世界图形、能学世界图象、电磁学世界图象和基本相互作用统一世界图象。作为科学的典型学科物理学也明显地表现出它同社会的相互作用。一方面物理学发展的每次转变都有其社会历史背景，另一方面物理学的技术成果和理论思维对社会的经济、文化和政治的发展有巨大的推进作用。

§ 0.0.1 物理学的内涵和外延的变化

“物理学”作为一门学术的名称是从古希腊哲学家亚里士多德 (Aristotle, 公元前 384—前322年) 的希腊文著作 $\phi\rho\upsilon\sigma\iota\kappa\eta\ \acute{\alpha}\kappa\rho\omicron\sigma\iota\varsigma$ 延续下来的。这个希腊词意为探讨自然的秩序和原理的“自然学”。后来的拉丁文 *Physica* 为它的音译，而法文 *Phy-*

*sique*和英文*Physics*等又都源于拉丁文。日本学者川本幸民在他的科学著作《气海观澜广义》(1851年)中提及“费西加, 穷物理学”, 第一次把希腊文及其衍生的各种西文译成日本汉字“物理学”。1879年日本学者板盛挺造出版了以日本汉字“物理学”为题名的著作。1900年上海江南制造局出版了板盛挺造的这部著作的藤田丰八和王季烈的汉译本《物理学》, 汉语“物理学”这个学术名词自此延续至今。

汉语“物理”一词最早出现在《庄子·秋水》:“是所以语大义之方, 论万物之理。”在《荀子·解蔽》中也出现过类似的用语:“凡以知, 人之性; 可以知, 物之理。”在《淮南子·览冥训》中则更为明显:“目察不足以分物理, 心意之论不足以定是非。”这里的“物”都是一切自然物, 正如《易传·序卦》中所说,“盈天地之间者唯万物”; 而“理”是规律的意思, 如后汉郑玄在《礼记·乐记》的注释中所说,“理犹性也”, 就是说自然的理就是它的本性。所以“物理”的含义就是自然规律。宋代邵雍(1011—1077年)提出“物理之学”的概念。汉语“物理”和希腊语中 $\phi\nu\sigma\iota\kappa\eta$ 是很相近的, 它们的基本含义都是“自然学”, 即关于自然规律的学问。

亚里士多德写下的许多讲稿和素材, 生前没有正式出版, 只是在他死后近300年, 公元前40年左右, 才由他的学园的第11代继承人安德罗尼库斯(*Andronicus*)分类整理, 编辑成书。亚里士多德38岁开始写作的《物理学》就是在这时第一次正式出版的。到公元2世纪左右, 在原子论学派和柏拉图(*Platon*, 公元前427—前348年)学派日逐兴盛的时候, 吕克昂学园的院长, 阿弗洛底西亚的亚里山大(*Alexander*)力图保存纯逍遥学派的理论, 开始考证注释真伪混杂的亚里士多德的著作。公元6世纪初, 亚里士多德的著作被认为违背教义而禁止研究, 于是被迫东传, 亚里山大城的菲利浦努斯(*Johon Philoponus*, ?—568

年)等人注释了亚里士多德的《物理学》,在波斯、叙利亚、北非流传。公元10世纪,阿拉伯学者阿威森纳(*Avicenna*, 即 *Ibn Sīnā*, 980—1037年)和阿沃罗伊(*Averröes*, 即 *Ibn Rushd*, 1126—1198年)关于亚里士多德著作的注释对后世有很大影响。公元12世纪亚里士多德的哲学又被认为可以用来解释教义,于是又反传回欧洲。亚里士多德的著作成了大学的教科书。亚里士多德的物理学思想,在14世纪以后,虽然受到一些学者的批判,但是在近代科学出现以前,它一直是在欧洲占主导地位。

亚里士多德把学问分为理论的(或思辨的)、实践的和制造的,而理论学术又分为形而上学、数学和物理学。他把形而上学叫第一哲学,把物理学叫第二哲学,即自然哲学。第一哲学研究不变的存在,第二哲学研究变化的存在。在亚里士多德逝世300年后,由他的继传人编辑成书的《物理学》主要讨论产生和消灭(即运动)、空间和时间以及事物变化的原因等物理世界的根本原理。今天被视为物理科学的光学、和声学、力学、天文学都被分类在数学里。几何光学被视为研究光线的几何学,力学被视为研究运动的几何学,和声学视为研究音程的数学比例,天文学被视为研究天体位置的几何学。一直到近代,研究的方法虽已摆脱了思辨方式,但物理学的内涵和外延没有多大变化。例如笛卡尔(*R. Descartes*, 1596—1650年)把全部哲学看作一棵大树,形而上学是树根,物理学是树干,其他科学都是树枝。1666年成立的法国皇家科学院分为数学部和物理学部,几乎像古代一样把力学和天文学归为数学部,物理学部则包括化学、植物学和解剖学等。

大约到18世纪中叶,由于科学的专门化,化学和自然史从物理学中分化出来,成为独立的学问。化学主要是由拉瓦锡(*A. L. Lavoisier*, 1743—1794年)等人的工作而获得独立地位的,而自然史则是由于林奈(*C. Von Linne*, 1707—1778年)和布丰

(G. Buffon, 1707—1788年) 等人的努力而受到特殊的注意, 成为独立学科固定下来。1771年法国皇家科学院创办新期刊《化学年鉴》(*Annales de Chimie*) 和《物理学、自然史和技术观察报告》(*Observation sur La physique, sur l'Histoire Naturelle, et sur les Arts*), 已明显表现出自然哲学的分化。在化学和自然史从自然哲学中分化出来以后, 留下来的物理学意味着什么呢? 在18世纪后半叶的法国曾就这个问题进行过讨论, 结果是把物理学分为一般物理学和特殊物理学。一般物理学指牛顿力学或由《自然哲学的数学原理》导出的数学科学的整个传统, 而特殊物理学同牛顿的《光学》的非数学部分有关, 用现在的话来说就是实验物理学, 它包括声、光、电、磁等现象的一个广泛的领域。1793年蒙日 (G. Monge, 1746—1818年) 和他的科学院成员出版了《物理学词典》(*Dictionnaire de physique*) 其中不包括任何化学和自然史方面的条目, 从而宣告了物理学的新概念。此后物理学就在这样的理解下发展起来。

§ 0.0.2 物理学研究模式的沿革

17世纪以前的物理学属于物理学前史。各文化先进的民族的哲学研究都不同程度地包含着对自然现象的思辨研究, 并且在直观观察的基础上构造物理世界图象。中国、希腊和印度是较早发展哲学理性的民族, 大约在公元前6世纪到公元前4世纪就产生了不同程度的自然哲学。这些民族几乎都或先或后并且程度不同地发展出三种宇宙的物理原理: 生成论、构成论和象数论。就中国和希腊相比较, 中国偏重生成论, 希腊偏重构成论。近代科学虽说是古代各先进民族文化汇合的结果, 但是更多、更直接的则是承继了希腊文化传统。正如恩格斯 (F. Engels, 1820—1895

年)所说的那样,“在希腊哲学的多种多样形式中,差不多可以找到以后各种观点的胚胎和萌芽”。作为物理学的史前传统可以概括为三种主要思想,我们简单地称它们为数学主义、逻辑主义和实验主义。数学主义的代表人物是毕达哥拉斯(*Pythagoras*, 公元前582—前497年)和柏拉图。他们企图以数学揭示隐藏在现象内的模式,把合适于现象的数学关系看作是对现象的解释。欧多克斯(*Eudoxus*, 公元前409—前356年)和托勒密(*Ptolemy*, 100—170年)遵循这种思想构造了宇宙的地心几何体系。逻辑主义的代表是亚里士多德。他强调描述自然秩序的学问不是数学而是逻辑学。他承认物理学中数学关系的重要性,但是他试图区分经验科学和纯数学,主张经验科学的研究应当从要解释的现象中归纳出一般原理,然后从包括这些原理的前提中演绎出关于现象的陈述。为此他创造了逻辑推理的三段论式作为他的物理学的基础。欧几里得(*Euclid*, 公元前333—约前275年)和阿基米德(*Archimēdēs*, 公元前287—前212年)在他们各自的科学中把演绎系统化。罗吉尔·培根(*R. Bacon*, 1219—1292年)提倡实验主义,他不仅继承了柏拉图的数学思想和亚里士多德的逻辑思想,而且继承了阿拉伯人的实验精神,并且把这些方法结合起来。他第一次把实验提到原则的高度,认为实验方法可以获得其他方法所不能获得的知识。这三种思想都是以后物理学发展的先导。

近代科学兴起的外在因素有文艺复兴和宗教改革,而其内在因素则是数学传统、逻辑传统和实验传统的发扬。但是表现最为突出的是柏拉图的数学主义。一直到18世纪末,物理科学的主要成就是天文学和力学,它们是作为数学的分支被研究的。从事这些研究的科学家是以数学家的身份出现的。作出物理学重大成绩的科学家们的思想是很明确的,伽利略(*Galileo Galilei*,

1564—1642年) 说大自然之书是用数学语言写的, 笛卡尔 (*R. Descartes*, 1596—1650年) 说科学的本质是数学, 牛顿 (*I. Newton*, 1642—1727年) 把他的划时代的物理学著作题名为“自然哲学的数学原理”。而且这一时期的物理学的主要成果不是靠实验, 而是在有限的观察事实的基础上充分依靠数学获得的。这一时期的物理学的主要特征是将自然哲学的思辨原理转变为数学原理, 借助数学构造物理世界的图象。当然, 在这一时期有弗兰西斯·培根 (*F. Bacon*, 1561—1626年) 提倡实验方法论, 也有像伽利略、牛顿、玻义耳 (*Robert Boyle*, 1627—1691年)、帕斯卡 (*B. Pascal*, 1623—1662年) 那样的获丰硕成果的物理学实验家, 但毕竟是少数, 而且实验物理学的成果远不能和数学物理学的成果相比。因此, 无论从科学家的科学观看, 还是从获得科学成就的主要方法看, 这一时期的物理学就其特征来说, 都可以称为数学物理学。

但是, 在18世纪末, 培根精神得到发扬, 开始了物理学的第二次革命。有两个社会因素促成这种情况的出现。第一个是法国的启蒙运动和大革命, 第二个是英国的工业革命。在启蒙运动中世界第1部真正的百科全书主编狄德罗 (*D. Diderot*, 1713—1784年) 重新提倡实验科学方法, 他在《关于自然解释的思索》(1754年) 中提出一个实验物理学的纲领。在拉瓦锡的多次建议下1785年法国科学院建立了实验物理学研究室, 而且他和拉普拉斯合作制作冰量热器, 这在实验物理学史上有重要地位。革命后的法国在教育和科学研究方面极其重视实验和数学的结合, 并且制度化。1806年拉普拉斯和贝托莱 (*C. Berthollet*, 1748—1822年) 建立了一个实验物理学家的研究组织, 投资15万法郎购置实验设备。他们还提出一个改造物理学的计划: 使用新仪器和技术把物理学定量化, 减少实验误差, 提高精度, 把数值代数化。

从此在法国走上实验物理学数学化的进程。1800—1815年是拉普拉斯的追随者们的牛顿范式，其后是由傅立叶（*J. B. J. Fourier*, 1768—1831年）开辟的非牛顿范式。正是这后一个方向在热学、光学和电学领域获得极大的成功。法国的物理学研究影响了欧洲各国。英国工业革命的成功刺激了德国，为了赶上英国依靠科学成为必要。受法国的影响，德国开始建立实验室，先是化学方面的，后来是物理学方面的，各大学和产业部门设立研究机构，使实验制度化。“实验”是产业装置的预想。在英国的工业革命（1830—1870年）中产业和科学没有多少结合，而其后的物理科学（包括化学）则成了产业的预想。科学就这样进入了生产力，并成为第二次科学革命的特征。

第一次物理学革命导致经典力学的形成和完成，而第二次科学革命在物理学方面导致经典电动力学、热力学和统计物理学的出现。使物理学研究进入理论物理学阶段。实验物理学数学化一方面使实验和数学紧密结合，从而形成现代意义的物理学，另一方面使得数学性的理论研究和实验研究分离成不同的专业，而且理论研究往往是实验研究的先导。从19世纪后半叶开始，物理学研究明显地表现出这种特征。电动力学和统计物理学就是从实验电磁学、量热学的数学化进而成为理论物理学的。数学物理学突出发扬数学主义的传统，实验物理学突出发扬的是实验主义传统，而理论物理学突出发扬的是逻辑主义传统。亚里士多德的逻辑主义要求科学从经验归纳出第一原理，然后逻辑地推导出科学定律。近代科学继承了亚里士多德的这种归纳——演绎法。伽利略在自己的研究中通过抽象和理想化扩展了归纳技术的范围，同时坚持了阿基米德的演绎系统化的思想。牛顿以自己的分析和综合方法与公理方法发展了亚里士多德的归纳演绎法，他强调演绎出来的推论用观察和实验来确证。他建立了一个通过