现代物理思想渊源（修订）

刘佑昌

物理思想纵横谈

Modern Physics

清华大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

现代物理思想渊源

——物理思想纵横谈

（修订版）

刘佑昌

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以物理思想为纲,涉及较多的现代物理知识。分专题论述了机械观、原质说、传热和冷热、无序和有序、波动和粒子、连续和量子、绝对和相对、时间和空间、因果性、守恒性、对称性、和谐性、简单性等内容。在纵向演绎中强调了横向联系,并且夹杂有作者自己的体会及评论。

本书可以作为大学本科的教材或参考书;也可以供对科学史、方法论有兴趣的读者阅览。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989　13701121933

图书在版编目(CIP)数据

现代物理思想渊源:物理思想纵横谈/刘佑昌. --修订本. --北京:清华大学出版社,2010.3
ISBN 978-7-302-21777-0

Ⅰ. ①现… Ⅱ. ①刘… Ⅲ. ①物理学哲学-研究 Ⅳ. ①O4-02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 001591 号

责任编辑:朱红莲
责任校对:王淑云
责任印制:

出版发行:清华大学出版社　　**地　　址**:北京清华大学学研大厦 A 座
http://www.tup.com.cn　　**邮　　编**:100084
社　总　机:010-62770175　　**邮　购**:010-62786544
投稿与读者服务:010-62776969,c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质　量　反　馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 刷 者:
装 订 者:
经　　销:全国新华书店
开　　本:148×210　　**印　张**:10.25　　**字　　数**:273 千字
版　　次:2010 年 3 月第 1 版　　**印　　次**:2010 年 3 月第1 次印刷
印　　数:1~　000
定　　价:　.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103　　产品编号:

FOREWORD 再版前言

本书第1版于1995年出版，出版后受到读者的欢迎，被多方引用，甚至有的图书（如2007年出版的《物理学史与物理学思想方法论》）整章整节摘抄了本书很大部分的内容，很难消除对著作权侵犯的影响。

第1版出版至今已15年，应读者对本书需求的考虑，萌生了再版意图。此次修订，主要有以下几点考虑：

（1）修订已发现的错误，使行文更加周到。

（2）更新一些数据及内容。

（3）在每章之后增补参考书目，以便读者查核或进一步阅读。除了注重资料的权威性，也兼顾到尽可能通俗易懂。

（4）仍然保留必要的数式及少量的运算，这样能更精确、更深刻地反映有关的物理内容。当然，读者也可以跳过它；或者，只是了解它的思路，欣赏其形式美。

本书以物理思想为纲，在物理学的纵向发展中强调了横向联系、交叉影响，因此对同一物理内容，往往会从多个角度分别论述，有关的章节势必分散。这样处理，有利于突出各个基本思想是如何贯穿整个物理学的。

以相对论为例：我们不仅在“绝对和相对”、“时间和空间”两章里大量介绍了狭义相对论及广义相对论，而且在12-2、12-3节里，谈到对称性思想在相对论的提出及发展中所起的作用；在讨论因果关系的绝对性（10-2节）及物理规律的简单性（14-4节）时，也都有相当的篇幅涉及相对论；此外，在3-3节里，又简要说明了相对论与以太

的关系……

再以电磁理论为例:首先,2-3 节主要阐述了牛顿力学对早期电磁学的影响,然后在第 3 章里介绍了电液说、电磁以太以及由此衍生出的电磁场概念,只是在“因果性”那一章里,才着重谈到推迟决定论及电磁场的推迟势;在 9-2、12-2 节里讨论了几个涉及对称性的有趣问题;在 13-3 节里交代了电磁作用自身统一的过程,以及它与弱相互作用的统一……

通过以上两个例子,说明在使用本书时,如果希望比较全面地了解某个内容,就应该查阅相关的各个部分,而不要只是局限于某一章节。这里不像通常的教材以力、热、电……来分类,有些读者可能不习惯;书末所附的索引,也许能够为此提供一点帮助。

最后,感谢清华大学出版社编辑及相关人员为本书付出的辛劳,特别是,原稿勾画得很乱,为他们增添了不少麻烦。

本书可能还有不妥之处,欢迎赐教。

刘佑昌

2009 年 10 月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

FOREWORD

第1版 前言

本书以物理学的基本概念、规律的演变为主，并以此来说明现代物理思想之渊源。为了便于阐述它们在纵向发展中的横向联系，这里按物理思想分别列出专题，而不是像通常那样以力、热、电……来分类。

了解物理学过去所走过的道路，有助于我们对物理学更深刻的认识及更有效的应用；而且，在前进的过程中，以史为鉴显然是有积极意义的。

物理思想不可避免带有哲理性，但为了保持此书的物理本色，尽量不去过多地涉及哲学。另一方面，物理思想又必然离不开有关的物理事实，假定读者一般具有非物理专业的大学物理水平，这就需要在本书中补充一些更多、更新的物理知识。

写这样一本题材的书，作者自知力不从心，欢迎大家不吝指正。书中某些观点，或一时难以定论，或多少带有个人倾向，权供参考。但愿本书能使读者活跃思路、开阔眼界；特别是，若能激励有志青年为科学事业奋发向上，则作者幸甚。

书稿曾经清华大学张三慧教授认真审阅，并提出宝贵意见，谨在此表示由衷的谢意。

作　者

1994 年 6 月

CONTENTS 目 录

第 1 章　物理学简介 …… 1

1-1　物理学的研究范围 …… 1
1-2　物理学的发展阶段 …… 4
参考资料 …… 9

第 2 章　机械观 …… 11

2-1　牛顿力学的建立 …… 12
2-2　牛顿力学的发展 …… 17
2-3　牛顿力学的影响 …… 22
2-4　机械观的兴衰 …… 27
参考资料 …… 31

第 3 章　原质说 …… 33

3-1　原子说 …… 34
3-2　热质说 …… 40
3-3　以太说 …… 42
3-4　电液说 …… 47
参考资料 …… 50

第 4 章　传热和冷热 …… 51

4-1　热传递 …… 51

4-2 热平衡 …… 57
4-3 温度 …… 60
参考资料 …… 66

第 5 章 无序和有序 …… 68

5-1 热力学第二定律 …… 69
5-2 熵与无序 …… 73
5-3 信息与有序 …… 77
5-4 不平衡到平衡 …… 80
5-5 “热寂”还是“进化” …… 82
参考资料 …… 87

第 6 章 波动和粒子 …… 89

6-1 声 …… 90
6-2 光 …… 95
6-3 德布罗意波 …… 104
参考资料…… 108

第 7 章 连续和量子…… 110

7-1 电量子 …… 111
7-2 能量子 …… 115
7-3 比热的量子化理论 …… 119
7-4 原子的量子化理论 …… 121
7-5 量子统计 …… 127
7-6 量子力学 …… 131
参考资料…… 136

第 8 章 绝对和相对…… 138

8-1 关于物质运动 …… 139

8-2 关于物理定律 …… 142
8-3 关于时空观 …… 151
8-4 关于物理量 …… 155
参考资料 …… 160

第 9 章 时间和空间 …… 162

9-1 时间与运动 …… 162
9-2 时间反演 …… 165
9-3 时间之矢 …… 171
9-4 空间与几何 …… 173
9-5 时空与引力 …… 177
9-6 相对论天体物理 …… 185
9-7 宇宙学的演变 …… 192
参考资料 …… 197

第 10 章 因果性 …… 199

10-1 亚里士多德的因果观 …… 200
10-2 因果关系的要点 …… 202
10-3 决定论的因果观 …… 208
10-4 概率论的因果观 …… 213
参考资料 …… 221

第 11 章 守恒性 …… 224

11-1 守恒与不灭 …… 225
11-2 守恒与对称 …… 232
11-3 守恒定律与运动定律 …… 237
11-4 宇称不守恒及其他 …… 239
参考资料 …… 244

第 12 章　对称性 …… 246

12-1　关于物质结构 …… 247
12-2　关于物理理论 …… 253
12-3　关于研究方法 …… 258
12-4　对称的破缺 …… 260
参考资料 …… 264

第 13 章　和谐性 …… 266

13-1　物质世界的和谐 …… 267
13-2　寻求层次最深的物质粒子 …… 274
13-3　寻求层次最高的物理规律 …… 277
13-4　物理理论的和谐 …… 282
参考资料 …… 287

第 14 章　简单性 …… 288

14-1　简单到节约 …… 289
14-2　极值原理 …… 292
14-3　简单性原则 …… 299
14-4　描述简单到规律简单 …… 303
参考资料 …… 306

内容索引 …… 309

人名索引(一) …… 315

人名索引(二) …… 316

第 1 章

物理学简介

在接触物理思想的各个专题之前，最好对物理学有一个总的了解。这就有必要首先对物理学的研究对象及其发展概况，做一些简短的介绍。

不同的时期，甚至同一时期不同的人，对“物理学”的理解可以是十分不同的。这不仅由于物理学的研究范围并非一成不变，还由于人们对物理学边界的认识，往往不能及时地取得统一。

物理学的发展也不是齐头并进的，不同的发展阶段有不同的侧重内容及各自的特点。我们将物理学的整个发展分为四大阶段：史前时期、初创时期、成熟时期、革新时期。

1-1 物理学的研究范围

开宗明义，我们从物理学的由来谈起，然后再涉足它所研究内容的演变。

1. 物理学的由来

物理学源于“自然哲学”。按希腊文，物理学的原意即“自然”，所以在古希腊，物理学就是自然科学。在珍重传统的英国，某些地方曾长时期沿用“自然哲学”而不采用“物理学”这个名称；这种保守倾向一直持续到 20 世纪 20 年代，甚至更晚。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

望文生义有时会产生误解。亚里士多德曾著有《物理学》,其内容有不少属玄学思辨;我国晋代的《物理论》及明、清之际的《物理小识》,阐述了作者认可的一些事物道理,然而他们所列举的事物,有的并不是物理学或自然科学的研究对象。

中华大地,长期以人文为本,原来就没有什么独立的自然科学。所谓"致知在格物.物格而后知至"[1],这里提倡的"格物致知",不过是为了修身、养性,其最高境界在"治国、平天下"。南宋朱熹(1130—1200)由此引申出"即物穷理",其"即物"仍泛指接近天下所有的事物(包括社会上的和自然界的)。明末徐光启(1562—1633)提倡"格物穷理之学",除了当时西方所论述的一些物理内容,还包含有数学、逻辑学等。到了清朝,李善兰(1811—1882)将 I. 牛顿的《自然哲学的数学原理》翻译成奈端的《数理格致》(约 1861),可惜因故未能全部译出。此后我国出现的"格致学"才对应于自然哲学或自然科学。光绪 14 年(1888)京师同文馆(京师大学堂的前身)设格物馆,后更名为格致馆,与天文、算术、化学等馆并列。据《清会典》记载,凡格致之学有七:力、水、声、气、火、光、电。至此,格致学才专指物理学。[2]

所谓"物理",应该理解为"万物之理",而不宜说成"事物之理"。只有这样,物理学才不会与人文科学相混淆。"物理学"这个名词,可以说是由日本引进我国的;日本在明治维新以后奋力学习西方,用汉字意译 Physics 为物理学。光绪 26 年(1900)日本人滕田丰八将一本《物理学》译成中文,经王季烈(1873—1952)校订并重新编写出版。民国成立(1911)以后,我国才逐渐用"自然科学"和"物理学"取代了含义两可的"格致学"。[3]

2. 研究内容的演变

要确切地表明物理学的研究范围,这一直是困难的。不仅因为物理学是一门迅速发展的学科,它所研究的内容不断地在更新,更由于它的边界线大段大段地模糊不清。例如,在 20 世纪之前,物理学

家一般不去研究分子内部的世界，而现在，我们不仅有了原子物理学、核物理学，还有涉及物质更深层次的粒子物理学；又如，在18世纪，晶体是矿物学所研究的对象，到了今天，晶体（或晶态）物理学则是物理学的一个正式分支。

物理学与天文学、化学几乎是息息相关的，它们的研究有时犬牙交错，难以区分。天文学和化学也都是比较古老的学科，天文学起源于天象观察及占星术，化学则起源于炼丹术及炼金术。尽管物理学的建立、发展与天文学、化学的成长，一直是彼此相辅相成的，物理学仍然一开始就区别于它们而自立门户；此外，物理学也明显地区别于矿物学和生物学。这些区别大致给物理学的研究范围勾画出一条界线，在相当长的一段时间内，物理学所研究的物质客体，基本上是宏观尺寸的，既不过于大也不过于小，既不要太死（不能动的矿岩）又不要太活（有生命的机体）。在这种框架内，物理学致力于研究物质运动的普遍规律。

既然物理学主要在于研究宏观物质的运动规律，与之相应地，物理学基本上也按照宏观物质运动的形态或现象来分类。于是，我们逐步有了力学、声学、光学、热学、电学等。这种分类方式及其研究内容，是与当时人们对物质世界的认识水平相适应的。一般来说，早期的认识总是从我们周围的事物开始，而且是直接依赖于人体的感官获得的。物理学的上述分类与人体的各种感觉分类（视觉、听觉、多样的触觉）大体上是吻合的。

随着人类对物质世界认识的拓宽及深化，物理“王国”的版图日益扩张。特别是进入20世纪以后，物理学在广度和深度上都取得飞快的发展，它不仅跨过了化学，从宏观世界深入到微观世界，乃至亚微观世界，还超越了天文学，从宏观世界迈进到宇观世界，乃至整个宇宙；物质客体从实物扩充到场，物质运动也从低速（远小于真空光速）延伸到高速（接近于真空光速）。物理学的这些巨大进展，不仅扩大了人们对物质运动形态的视野，更重要的是，极大地丰富了人们对物质客体多样性的认识，激励着人们去深入地研究物质的结构。

于是,在现阶段,可以认为物理学的主要任务,是研究物质(包括实物和场)结构及物质运动的一般规律。物理学终于摆脱了原有的框架束缚,不限于研究宏观物质的运动。在新的形势下,物理学更有条件按照所研究的物质客体来分类,即按照对象(固体、流体、等离子体、原子、中子、电磁场、引力场……)来分类。

一方面,物理学的每一个重要发现,或迟或早都会给工程技术带来巨大的变革,并由此衍生出各种应用学科,如材料力学、热工学、金相学、工业电子学等;另一方面,自然科学和应用科学的发展,势必要加剧学科之间的碰撞及重叠。于是,在物理学与有关的其他学科之间,越来越多地出现了一些交叉学科,如地球物理、无线电物理、工程热物理、生物物理、计算物理、电化学、量子化学等。这些物理学的外围学科和边缘学科的建立和发展,更加使得今天的物理学在物质世界中到处渗透,几乎无孔不入。物理学与其他自然科学、应用科学之间建立起来的千丝万缕的联系,有些地方已达到剪不断、理还乱的局面。

1-2 物理学的发展阶段

物理学真正作为一门独立的自然科学,还不到 400 年的历史。但是,在物理学创建之前,人类已积累了不少的物理知识,这为物理学的建立和发展打下了广泛的基础。

认识的发展既有继承性也有阶段性,物理学也不例外,我们可以将物理学的整个发展历史粗略地分为四大阶段。

1. 第 0 阶段(远古—17 世纪初)

这一阶段是物理学的史前时期,故称为第 0 阶段。在这个阶段里,尽管经历了漫长的岁月,人类对大自然的了解,还是很肤浅、很不全面的;所获得的物理知识,定性多于定量,感性多于理性,零散而不系统。

关于电和磁的最早知识,即观察到“琥珀拾芥”、“慈石召铁”等

现象,在亚洲及欧洲都是古老的事,约公元前6世纪古希腊已有所记述;我国战国时代成书的《管子》(约公元前4世纪),其中也有关于天然磁体的记载;摩擦起电的发现则稍晚,大约到西汉末年(公元20年前后)才有明文记载。

由乐器的演奏、制作而总结出的音律,同样也是最古老的物理知识。公元前6世纪,我国就有了三分损益法,西方的毕达哥拉斯则确立了乐音与弦长或管长的关系。

在这一时期,人类对简单机械、几何光学也逐步积累了丰富的知识。其中特别值得一提的有:我国《墨经》(公元前4世纪)中的有关论述;阿基米德(Archimedes,公元前287—前212)的浮力原理及静力学的一些基本规律。此外,N. 哥白尼的日心体系取代了C. 托勒密的地心体系。

总的说来,我国在这期间所取得的成就并不逊于欧洲,某些方面还居于领先地位。例如,北宋沈括(1031—1095)在所著的《梦溪笔谈》(1086)中就论述了地磁及人工磁化,这比W. 吉伯的《论磁性,磁体和巨大地磁体》约早500多年。令人遗憾的是,一些原本具有优势的项目逐渐落后于人。举一个最明显的例子,针孔成像、反射成像在《墨经》中早有记述,远在2000多年之前,我国就有人以透镜取火,但望远镜、显微镜的最早发明(17世纪初)及有效使用都出现在西方,光的折射定律后来也是在欧洲发现的。

2. 第1阶段(17世纪初—17世纪末)

这是物理学的初创时期。它起始于G. 伽利略而终止于牛顿力学的建成。在这实际上不到100年的期间里,物理学逐渐形成为一门精密的学科。

这一阶段的特点是:大批的学者摆脱了亚里士多德经院式哲学的束缚及宗教的专横统治,不再满足于对自然现象的消极观察和对物理知识的简单归纳,而是走向更积极的实验研究及更细致的定量分析。于是,在物理学中开展了数学应用及实验工作,并且开始从感

性认识向理性认识过渡。

这些科学风气的形成,主要由于伽利略的创导。在他的周围,很快形成了以实验工作为主的伽利略学派,其中最著名的有 E. 托里拆利(Torricelli,1608—1647),他研究过抛体运动及液体自容器小孔流出的速度;将伽利略的空气测温器改进为酒精温度计;发现了大气压力(1643)并制成水银气压计(1644),这有力地打击了"自然惧怕真空"的传统偏见。亚里士多德是不承认真空的客观存在的,在他的《物理学》中,通过多方面的逻辑思辨,论证"虚空"是假的;相应地,他也不认为空气具有重量、大气应有压力。[4]

在这一时期内,除了伽利略、J. 开普勒和 R. 笛卡儿的主导工作,物理学方面的重大成就还有:

万有引力与距离平方的反比(I. 牛顿,1666; R. 胡克,1680);

动量守恒(C. 惠更斯,1669);

离心力及向心加速度(惠更斯,1673);

光的微粒说(牛顿,1666);

光的波动说(惠更斯,1678);

气体体积与压强的反比(R. 玻意耳,1661; E. 马略特,1676)。

此外,物理学还初步具备了一些较精密的基本测量(时间测量、温度测量、压力测量……)仪器。以上这些成就,为力学、光学、热学的建立及发展开辟了道路。

当欧洲致力于将物理知识定量化、理性化的时候,我国却停滞不前了。1600—1687 年,即明万历 28 年到清康熙 26 年,不仅战乱连绵,更由于长期的封建统治、尊儒崇文、轻视工匠技艺,加之小农经济的不求进取、不求量化,这就必然使得我国的科学技术落后于西方,并且逐渐拉大了差距。尽管其间有几位外国传教士顺便将伽利略学派的力学、透镜光学带进了中国,但几粒石子掷于一潭深沉的死水,毕竟掀不起大浪。

3. 第 2 阶段(17 世纪末—19 世纪末)

这是物理学的成熟时期。在此期间内,物理学成长为一门完整的自然科学,它既是精密的实验科学,又是严谨的理论科学。这一阶段的特点,在于物理学的逻辑化、系统化及统一化。

它以牛顿建成力学体系为起点,其标志为《自然哲学的数学原理》一书的出版(1687)。半个世纪以后,相继发展出流体力学(1738)、刚体力学(1752—1760)、天体力学(1799—1825)、弹性力学(1821—1828),后来又建立了完整的声学理论(1877)。另一方面,为了力学在广泛应用中的求解方便,不断更新了基本定律的表达形式,由此产生了分析力学(1743—1788),为力学通往其他的物理领域提供了桥梁。总之,在这 200 年里,牛顿力学经过完善、壮大,不久就达到了登峰造极的气势。

在牛顿力学的带动下,物理学其他分支的理论探讨也活跃了起来。在此期间,热动说取代了热质说,光波说战胜了光粒说。蒸汽机的发明(1765)促进了热力学的产生,而以分子的机械运动说明热现象的努力,导致 J. C. 麦克斯韦、L. 玻耳兹曼提出经典统计理论(1859—1872)。电磁现象的研究由分散逐步趋于统一。电流磁效应(1820)和电磁感应现象(1831)的发现,不仅使人们对磁、电之间的关系有了崭新的认识,而且迅速转化为生产力,由此诞生了电力工业,使生产面貌为之一变。1860—1865 年,麦克斯韦创立了统一的电磁场理论,预言了电磁波的存在,还将光波从弹性波纳入电磁波,电磁波的应用使通信事业大为改观。

到 19 世纪末,有关宏观世界的物理理论已经完整地树立了起来,从早先以力为中心的物理学,最后发展成力、能、场三足鼎立的物理学。显然,牛顿和麦克斯韦的业绩是巨大的,人们常称 20 世纪以前的物理学为牛顿-麦克斯韦物理学,又称为经典物理学。还应该指出的是,工作在这一历史时期的一些著名的数学家,如 L. 欧拉、J. L. 拉格朗日、P. S. M. 拉普拉斯、J. B. J. 傅里叶、C. F. 高斯、W. R. 哈密

需要全本请访问 www.ertongbook.com