



新世纪高等学校教材

大学公共课系列教材

大学物理

—— 经典与近代物理简明教程

DAXUE WULI

管 靖 主编



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

新世纪高等学校教材

大学公共课系列教材

大学物理

——经典与近代物理简明教程

DAXUE WULI

管 靖 主编



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP) 数据

大学物理 / 管靖主编. — 北京: 北京师范大学出版社,
2009.8

新世纪高等学校教材

ISBN 978-7-303-09914-6

I. 大… II. 管… III. 物理学—高等学校—教材
IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 116292 号

营销中心电话	010-58802181 58808006
北师大出版社高等教育分社网	http://gaojiao.bnup.com.cn
电子信箱	beishida168@126.com

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印刷: 涿州市星河印刷有限公司

经销: 全国新华书店

开本: 170 mm × 230 mm

印张: 19.75

字数: 332 千字

版次: 2009 年 8 月第 1 版

印次: 2009 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 30.00 元

策划编辑: 梁志国 责任编辑: 梁志国

美术编辑: 高 霞 装帧设计: 高 霞

责任校对: 李 菡 责任印制: 李 丽

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

大学物理

经典与近代物理简明教程

编委会

主 编：管 靖(北京师范大学)

编 委：以姓氏汉语拼音为序

范建中(太原师范学院)

管 靖(北京师范大学)

景红梅(北京师范大学)

李融武(北京师范大学)

王春凤(北京师范大学)

夏天龙(中国人民大学)

徐 靖(中国人民大学)

杨晓荣(西藏大学)

张 萍(北京师范大学)

张 英(北京师范大学)

北京师范大学出版社网站免费为本书提供完整的教学课件和习题解答下载。教学课件融文字、视频、动画为一体，由本书编者精心制作。敬请登录网站，获取以上资源。

网址：

[http: //gaojiao. bnup. com. cn/download. aspx](http://gaojiao.bnup.com.cn/download.aspx)

物理学——研究物质、能量和它们相互作用的学科——是一项国际事业，它对人类未来的进步起着关键的作用。

物理学的作用是：探索自然，驱动技术，拯救生命。

——1999 年国际纯粹物理和应用物理联合会第 23 届代表大会

教育的目标，不只限于知识的传授，尤其是高等教育，其主要任务是教导学生思考。

——吴大猷

对我影响最大的是我的物理老师，她教我如何思考问题，严谨、避免走弯路，使我的思想具有逻辑性。

——米歇尔(H. Michell, 德国结构生物学家, 1988 年诺贝尔化学奖得主)

(欧几里得几何学)似至晦，实至明；似至繁，实至简；似至难，实至易。

——徐光启(明)

徐光启的“三似三实”之说道出了科学研究不难的真谛。

——杨振宁

马赫的真正伟大就在于他的坚不可摧的怀疑态度和独立性。

(马赫的理论)不可能创造出什么有生命的东西,而只能扑灭有害的虫豸。

——爱因斯坦

想象力比知识更重要，因为知识是有限的。而想象力概括着世界上的一切，推动着世界前进，并且是知识进化的源泉。严格地说想象力是科学研究中的实在因素。

——爱因斯坦

西方科学的发展是以两个伟大成就为基础的，那就是：希腊哲学家发明的形式逻辑体系(在欧几里得几何学中)以及(在文艺复兴时期)发现通过系统的实验可能找出因果关系。

——爱因斯坦

从长远的角度来看，事实上技术领域的进展可能相对是最不重要的。在艺术、建筑和文学方面的进展都有更大的影响……但如果从影响看，“自然哲学”的进展恐怕是最重要的。

——杨振宁

前言

本书针对具有高级中学理科基础知识，学过一元微积分的非物理专业的读者编写。力求在简明的前提下，较全面地介绍物理学的基本概念、基本原理和基本方法；尽力避免与中学物理的重叠，保持近代物理内容占有合理的比重。

要在了一本很简明的教材中体现近代化并非易事，编者以为，喜新必须厌旧，必须坚决放弃一些传统认为很重要的内容，特别是力学和电磁学中较为艰深和可能与中学重复的内容；近代物理的内容也不可能很多，本书主要集中于20世纪物理学的三个伟大进展——狭义相对论、量子物理和非线性物理(混沌)方面。

编者以为，教学应侧重方法和能力培养，不必追求知识的完备，更不必苛求知识的记忆。记忆的知识一定会忘却，特别对非物理专业的读者，忘记得会很快。所以教学应追求如何对读者产生长期且深远的影响。“教育的目标，不只限于知识的传授，尤其是高等教育，其主要任务是教导学生思考。”(吴大猷)和“对我影响最大的是我的物理老师，她教我如何思考问题，严谨、避免走弯路，使我的思想具有逻辑性。”(结构生物学家 H. 米歇尔)值得教与学双方反复深思。

本书选材的一个考虑是：“西方科学的发展是以两个伟大成就为基础的，那就是：希腊哲学家发明的形式逻辑体系(在欧几里得几何学中)以及(在文艺复兴时期)发现通过系统的实验可能找出因果关系。”(爱因斯坦)。所以本书第1章和第6章较多地关注逻辑推理，第11章和第12章更多地关注理论与实验关系。

20世纪末，在物理学家中调查“物理学中最重要的概念

是什么?”调查结果公认为是：力、场、能、熵、狭义相对论时空观和波粒二象性，这就是本书选材的另一个依据。

本书设置了若干“阅读材料”，请读者注意，这些阅读材料非常重要，值得研讨。

本书还设置了若干选读内容(楷体字及用*号标出部分)，供教学中灵活选用。编者以为，应优先学习基本内容，特别是近代物理内容不可轻易放弃。

编者虽尽心尽力，希望本书既简明又全面，还具有特色；但是，难免有偏颇疏漏，敬待读者指正。

编 者

2009-03-12

目 录

物理学导论 / 1

第 1 章 经典力学基础 / 11

1.1 质点运动的描述	12
1.2 牛顿运动定律	18
1.3 质点的动量定理和动量守恒定律	25
1.4 质点的角动量定理和角动量守恒定律	28
1.5 质点的动能定理和机械能守恒定律	31
1.6 总结与评述 综合应用	37
1.7 经典力学的适用范围	40

第 2 章 机械振动 / 43

2.1 简谐振动	43
2.2 振动的合成	51
* 2.3 阻尼振动和受迫振动	54
* 2.4 混沌简介	57

第3章 分子动理论 / 62

3.1 平衡态 状态参量	63
3.2 理想气体状态方程	64
3.3 统计规律性的基本概念	65
3.4 分子动理论的基本出发点 理想气体的压强	68
3.5 理想气体的温度和方均根速率	71
3.6 麦克斯韦速率分布律	72

第4章 热力学第一定律 / 79

4.1 热力学第一定律	79
4.2 准静态过程的功	82
4.3 理想气体的内能和摩尔热容	84
* 4.4 理想气体内能及摩尔热容的微观理论	86
4.5 热力学第一定律对理想气体准静态过程的应用	89
4.6 循环过程和卡诺循环	91

第5章 热力学第二定律 / 97

5.1 热力学第二定律	97
5.2 热力学第二定律的实质和数学表述	99
5.3 热力学第二定律的统计意义	107
* 5.4 信息熵简介	113
* 5.5 拓展与评述	115

第6章 真空中的静电场 / 123

6.1 电荷守恒定律 库仑定律	123
6.2 电场强度	126
6.3 环路定理 电势	128
6.4 静电场的几何描述	131
6.5 高斯定理	136
6.6 导体的静电平衡 静电屏蔽	140

第 7 章 恒定电流在真空中的磁场 / 147

7.1 基本磁现象	147
7.2 磁感应强度 洛伦兹力	148
7.3 毕奥-萨伐尔定律	150
7.4 磁通量 磁场的高斯定理	152
7.5 安培环路定理	153
7.6 磁场对运动带电粒子和载流导线的作用	155

第 8 章 电磁感应 麦克斯韦方程组 / 161

8.1 电动势	161
8.2 电磁感应定律	163
8.3 动生电动势	165
8.4 感生电动势	167
8.5 麦克斯韦方程组	171

第 9 章 波动与光学 / 175

9.1 波的基本概念	175
9.2 平面简谐波方程	178
9.3 机械波的动力学方程和能量	183
9.4 电磁波 光波	185
9.5 波的相干叠加	189
9.6 光的干涉	193
9.7 光的衍射	200
9.8 光的多缝衍射	206
9.9 光的偏振	210

第 10 章 狭义相对论基础 / 217

10.1 力学相对性原理 经典时空观	218
10.2 爱因斯坦创建狭义相对论的背景	219
10.3 狭义相对论的基本原理	220
10.4 洛伦兹变换	222

10.5	狭义相对论动力学简介	230
10.6	总结与评述	234

第 11 章 早期量子论和量子力学的诞生 / 241

11.1	黑体辐射和普朗克的能量子假说	241
11.2	光电效应和爱因斯坦的光量子理论	243
11.3	原子结构和原子光谱 玻尔的量子理论	246
11.4	康普顿效应 光的波粒二象性	254
11.5	德布罗意波 微观客体的波粒二象性	258
11.6	量子力学的建立	261

第 12 章 量子力学基础 / 266

12.1	波函数的统计解释	266
12.2	薛定谔方程	272
12.3	一维无限深势阱	274
12.4	不确定关系	276
* 12.5	一维定态薛定谔方程的数值解与定性讨论	279
* 12.6	计算机模拟实验及真实实验的进展	288
12.7	评述	298

物理学导论

这里对物理学作极简单的介绍,使读者在开始学习物理学时对它的全貌有一个大概的了解,能开阔眼界,激发学习物理学的兴趣。

一、物理学的形成与发展

物理学的前身是自然哲学,研究所有非生物的自然现象。在17世纪,牛顿所处的时代,科学与哲学还没有分开,牛顿把他的划时代巨著定名为《自然哲学的数学原理》就是明证。科学逐渐划分为物理学、化学、生物学、天文学、地质学等学科,不过是近二三百年的事情。19世纪中期后,物理学的研究范围仅限于物质的化学性质不发生变化的过程,随着物理学对物质结构的探索,这种限制已被突破。现在认为,物理学是研究物质结构和相互作用以及物质的运动规律的学科。与其他学科相比,物理学更着重于对物质世界最普遍、最基本的规律的探求。

早期人们对客观世界的认识起源于感觉,力学(机械)运动是人们最常见的现象,最便于直接观察,所以力学是物理学中发展最早的分支。人们还根据感觉,把观察到的现象分类,如把与视觉有关的现象归为一类,对它们的研究称为光学;与听觉有关的被称为声学,与热现象有关的被称为热学,等等。电磁学与直观感觉的联系较少,所以发展较晚,到19世纪才与热力学一起发展成为物理学的两个分支。到19世纪末,物理学逐步形成了三种较为成熟的重大理论:经典力学、热力学和经典统计物理学、电磁学,此时经典物理学理论体系已基本建成。正当人们为物理学的大厦已近建成而欢呼之际,一系列与经典物理不相容的实验事实相继出现。在这些实验的基础上,于20世纪初,爱因斯坦几乎独立地创立了相对论;在普朗克、爱因斯坦、玻尔、德布罗意、海森伯、薛定谔、玻恩等多人的共同努力下,创立了量子力学。逐步形成了两种比较成熟的重大理论:狭义相对论和量子力学,它们奠定了近代物理的理论基础。

粒子物理(高能物理)和天体物理是当前物理学研究领域里两个活跃的前沿,前者在最小尺度上探索物质更深层次的结构,后者在最大尺度上寻求天体演化的规律。物理学与其他学科形成的交叉学科,也是目前活跃的领域。物理学与化学几乎从来就是并肩发展的,物理化学已是较为成熟的交叉学科,量子化学则涉及对化学现象微观机制的研究,现在常把物理学和化学统称为物质

(结构)科学。物理学与生物学的关系则是另一种情况,1842年沃勒用无机物合成了尿素之后,认为生命现象由“活力”主宰,不可能用物理学和化学的规律解释的“生机论”动摇了。但生物学有自己独特的思维方式和研究方法,并已取得许多重大成果,所以试图把生物学还原为物理学和化学的“还原论”也不会是正确的。不过20世纪后半叶,在物理学与生物学的交叉点上取得的一系列重大成就,如DNA结构的确定、耗散结构在生物学中的应用等,说明物理学与生物学的互相渗透有极为广阔的前景,以至于有人预言21世纪将是生命科学的世纪。那么,什么是生命科学呢?德国结构生物学家米歇尔(1988年诺贝尔化学奖获得者)讲过:“我认为最好将物理学和生物学结合起来,称为生命科学。”实际上,生命科学是生物学与物理学、化学等学科共同形成的交叉学科。

现在物理学的研究范围迅速扩展,诸如化学键断裂、蛋白质折叠,医学中的免疫理论、心肌纤颤的机理与治疗,以及水土流失、交通阻塞等,都已成为物理学的研究课题。因此有人认为:“不管是什么问题,当物理学家用物理学的方法去研究它时,它就成为物理问题。”

1999年国际纯粹物理和应用物理联合会第23届代表大会的决议指出:“物理学——研究物质、能量和它们相互作用的学科——是一项国际事业,它对人类未来的进步起着关键的作用。”关于物理学的作用,大会的口号是:“探索自然,驱动技术,拯救生命。”

物理学是理论与实验高度结合的精确科学,物理学有一套全面、有效的科学方法。在科学素质教育中,物理学有无可替代的重要作用。结构生物学家米歇尔也曾讲过:“对我影响最大的是我的物理老师,她教我如何思考问题,严谨、避免走弯路,使我的思想具有逻辑性。”对于所有读者,学好物理学都有非同寻常的意义和价值。

二、物理学与技术

人们通常把科学和技术合在一起而称为科技,实际上二者既有联系又有区别。科学解决理论问题,主要关注未知领域,去发现其中的现象、现象与现象间的关系,去建立包含这些事实与关系的理论,其进展、其突破都难以预料。技术则是把科学的成果用于实际问题,在较为成熟的领域内工作,可以作出较准确的规划。

18世纪中叶开始了第一次技术革命。复杂机械的发展、热机的发明和使用,对物理学提出了要求,从而促使牛顿力学走向成熟,使分析力学和热力学的研究迅猛发展;力学和热力学的发展又反过来促使技术的提高。第一次技术革命以

“技术—物理—技术”的模式完成。

19 世纪下半叶开始的第二次技术革命以电力的广泛使用、无线电通信的实现为标志,这一次技术革命则以“物理—技术—物理”的模式完成。1785 年库仑建立了库仑定律,1831 年法拉第发现电磁感应定律,在这期间众多物理学家努力探索,取得了大量理论成果。在此基础上,之后的半个世纪中各种直、交流发电机和电动机的技术性研究应运而生,并被广泛应用。1865 年麦克斯韦建立了电磁场理论,1888 年赫兹完成了电磁波实验,由此为基础马可尼和波波夫发明了无线电。以电气化为代表的第二次技术革命的成功又促使物理学进一步发展,相对论和量子力学相继诞生。

20 世纪中叶开始并延续至今的第三次技术革命中前述两种模式并存,互相交叉,以第二种模式为主。其中有一个共同的特点,几乎所有高新技术领域(原子能、激光、信息等)的创立,在事前都经过了物理学长期的研究,在理论与实践上积累了大量知识,在第三次技术革命中才“突然地”迸发而出。试想,如果没有 1909 年卢瑟福 α 粒子散射实验确认原子的有核结构,没有 1905 年狭义相对论的创立及质能关系 $E=mc^2$ 的提出,就不可能有 40 年后核能的利用。没有 1917 年爱因斯坦提出的受激辐射理论,就不会有 1960 年第一台激光器的诞生。由计算机及其应用引发了信息革命,而信息技术中的硬件部分都是以物理学的成就为基础的,20 世纪 20 年代建立了量子力学和量子统计物理学,1928 年索末菲提出了能带猜想,1929 年派尔斯提出禁带和空穴概念。约 20 年后,贝尔实验室的巴丁等人发明了晶体管,标志着信息时代的开始。20 世纪 60 年代至 80 年代集成电路、大规模集成电路、超大规模集成电路的诞生,终于形成当前信息技术迅猛发展之势。

1986~1987 年,实验中高温超导体的发现,推动了超导理论的深入研究;而高温超导体进入技术应用领域,对高新技术的发展又起到了重大作用。

由上述可见,狭义相对论和量子力学不但是近代物理的理论基础,也是第三次技术革命中高新技术发展的基石。同时,经典物理也继续在高新技术的发展中发挥重大作用。众所周知,电磁学理论的重要性比以往更为突出,即使是最古老的经典力学也在航空(空气动力学,振动及稳定性)、航天(定向陀螺,引力加速,航天器姿态稳定性,航天器动态对接)和机器人的运动理论等诸多领域内与高新技术息息相关。

实际上,物理学中 5 种较成熟的理论:经典力学、热力学和经典统计物理、电磁学、狭义相对论、量子力学和量子统计物理,正共同、且全面地支撑着当今高新技术的发展。

高新技术也为物理学的研究提供了前所未有的手段, 高速大型计算机已成为物理学研究必备的设备, 哈勃太空望远镜是人类探索宇宙秘密的有力武器. 1994~1995 年美国费米国家实验室在周长 6.4 km、使用 1 000 个超导磁体的质子-反质子对撞机上进行的实验中发现了顶夸克. 顶夸克的发现是物理学以至整个科学界的重大事件, 因为证实了 6 味夸克的存在, 就可以解释几百种强子(重子和介子)的构成.

物理学是基础学科, 极难产生直接的经济效益, 但它却是工业与技术革命的原动力, 物理学的进展与突破推动着社会生产力向前飞跃发展. 物理学家非功利性的对自然界的不断探索, 给人类社会带来了巨大的功利.

近代高科技的另一特点是科学成果以前所未有的速度应用于生产和生活实践. 1960 年诞生的激光器仅短短几年就已广泛应用于技术研究和生产的各个领域, 并很快涉及人类生活(激光医学、全息照相等)并进入家庭. 所以, 国家、民族以至每个人都应有足够的“物理储备”, 以迎接 21 世纪更高、更新的科技发展的考验.

三、物质世界及其层次

物质是物理学的研究对象, 物质包括实物与场. 开始人们为描述物体间的相互作用而引入了场的概念, 电力、磁力都通过场起作用. 法拉第首先提出了电场、磁场的概念, 之后, 麦克斯韦于 1865 年建立了电磁场理论. 随着物理学的发展, 人们认识到场与实物一样具有动量和能量, 是物质的一种形态; 但场可以充满全空间, 且没有不可入性. 对电磁场人们已有了相当深入的了解. 引力的发现早于电磁力, 但牛顿认为引力是超距作用的, 爱因斯坦在广义相对论中重新认识引力, 把引力归结为时空弯曲, 但广义相对论还是发展中的理论, 人们对引力场的认识还不够完善.

物质中的实物所涉及的范围十分广阔, 物理学所要描述的对象从开始的宏观世界(包括与人体尺度相近的若干个数量级)向微观世界(从比原子尺度稍大到更小空间)和宇观世界(天体、宇宙)发展.

目前认为存在三类“基本”粒子: 夸克、轻子(电子、中微子等)和规范玻色子(光子、 Z^0 等). 现在人们还未观测到它们的内部结构, 比如, 依然可把电子看成一个点粒子. 质子和中子属于重子, 为强子中的一类, 由夸克和胶子组成, 不属于“基本”粒子. 夸克被禁闭在束缚态中, 观测不到自由夸克.

从物质结构的主要部件看, 只要有质子、中子和电子就够了. 质子和电子一样是稳定的, 可孤立地长期存在; 中子却不能孤立地生存, 会放射性地衰变