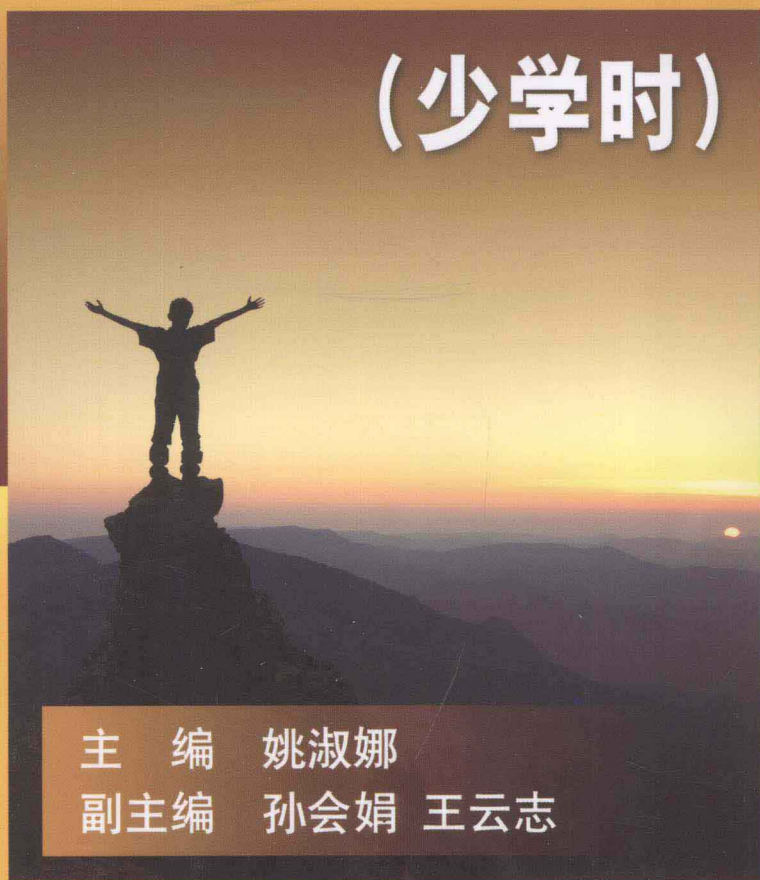




普通高等教育“十二五”规划教材

应用物理基础

(少学时)



第2版

主 编 姚淑娜
副主编 孙会娟 王云志



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

应用物理基础

(少学时)

第2版

主 编 姚淑娜
副主编 孙会娟 王云志
参 编 母小云 李晓梅

机械工业出版社

本书是为普通高校部分理工科专业的本（专）科学生编写的大学物理课程（少学时）（60~90学时）教材，也可作为三本院校部分专业的大学物理教材或参考书。

本书特色是，适应大众化高等教育的特点，适当弱化数学推导，内容深浅适度，突出对重点、难点的讲解，注重基本知识，强调物理学原理在生产、生活和科学技术中的应用。本书绪论扩充了一些内容，力图使学生对物理学的全貌有一个“概览”。各章习题的选取紧紧围绕教材基本内容，降低数学计算难度，题目包括简答题、选择题、填空题、计算题等多种形式，用以考查学生对基本知识的理解和掌握。为了加强师生互动，激发学生学习的积极性，培养学生的自学能力和表达能力，还增加了“阅读与讨论”专题。

为了方便师生对本教材的使用，编者在修订本书的同时，还编写了与之配套的《应用物理基础（少学时）习题解答》和开放式电子课件，使用本教材的教师可以根据自己的教学需要和爱好对电子课件进行修改。

本书将重心放在了对机械运动、电磁运动和热运动这三种自然界最基本、最常见运动形式的描述上，主要内容有质点力学、刚体力学、相对论、静电场、恒定磁场、电磁感应、振动与波动、波动光学、气体动理论和热力学基础等。

图书在版编目（CIP）数据

应用物理基础：少学时/姚淑娜主编. —2版. —北京：机械工业出版社，2012.9

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-39391-7

I. ①应… II. ①姚… III. ①应用物理学-高等学校-教材
IV. ①O59

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第201088号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：李永联 责任编辑：李永联 陈崇昱

版式设计：霍永明 责任校对：樊钟英

封面设计：马精明 责任印制：乔宇

北京汇林印务有限公司印刷

2013年1月第2版第1次印刷

184mm×260mm · 23.5印张 · 577千字

标准书号：ISBN 978-7-111-39391-7

定价：43.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工微博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

《应用物理基础（少学时）》是为普通高校部分理工科专业开设的“少学时”（60~90学时）大学物理课程而编写的教材。

本书自2008年出版以来，在一些高校已经使用三轮。在使用过程中，同行们对本书提出了很好的建议和意见。而且，近年来的高等教育形势也发生了很大变化，教材建设必须适应这种变化。

本书此次修订的目的有两个：一是修正一些在使用中发现的纰漏和不足，进一步提高教材质量；二是在保持教材基本框架的基础上增加了一些内容，以适应新形势下的大学物理教学的需要，为此对第10章进行了重写，新增了热学内容（第11章、第12章）以及物理学中常用的矢量知识。

为了方便广大师生对本教材的使用，我们在修订本书的同时，还编写了与之配套的习题解答和电子课件，在教材立体化建设方面又迈进了一步。

本书在编写和修订过程中，得到了北京联合大学各级领导的支持，同时得到了物理教研室各位教师的帮助，在此一并致谢。

本书由姚淑娜担任主编，孙会娟、王云志担任副主编。姚淑娜负责制订全书的框架，并组织编写、修订和统稿。参加编写和修订的人员及其分工如下：姚淑娜编写第0章、第8章、第9章、第10章、物理学中常用的矢量知识、各章的习题及答案；孙会娟编写第1章、第2章、第4章、第5章；王云志编写第3章、第11章、第12章；母小云编写第6章、第7章；李晓梅编写阅读与讨论的一、二、三和四。

教材建设是一项长期艰巨的任务，需要作者不断地创新和完善，虽然此次修订纠正了一些偏差，弥补了一些不足，但仍难免有疏漏，恳请专家和同行批评指正。

编者

2012年9月

第1版前言

《应用物理基础》是为普通高等院校工科专业的本（专）科学生开设的“少学时”（60~90学时）物理课程编写的教材。

随着我国高等教育进入大众化阶段以及社会对应用型人才的大量需求，进一步突出应用性教育、培养应用型人才已成为普通高等院校的紧迫任务。一贯作为重要基础课程的大学物理也已经和正在面对前所未有的挑战。大学物理课程应该怎样开设？教学内容和方法应该怎样调整 and 改革？教材应该怎样编写？通过物理教学怎样真正提高学生的科学素质和应用能力？……这一系列问题引发了我们对物理教学工作的苦苦思索。大家认识到，物理课程只有在应用性教育中充分发挥其重要作用，才能保持生机与活力。我们必须面对现实，积极探索，勇于创新，走出新路。

本书主要编者长期坚持一线教学，曾担任过工科类本科、专科和专升本学生的大学物理教学，还担任过管理类等非工科专业的本科、专科的大学物理教学，积累了比较丰富的教学经验。特别是对近几年在大学物理教学实践中遇到一些新情况和新问题的思考，使我们对大学物理教学产生了一些新的想法，虽然这些想法不一定成熟，但却激发了我们进行一些新的探索和实践的强烈愿望。这也是编写本书的主要目的之一。由于融入了一些新的想法，它与传统的大学物理教材有一定的区别，当然，效果究竟如何，还需要通过进一步的教学实践去检验。

本书特色主要体现在以下几个方面：

1. 不拘泥于传统物理教科书的系统性和完整性，对传统教材内容进行了较大篇幅的删减。针对某些工科专业学生学习后继课程和专业的需要，将教材重心放在了对自然界最基本、最常见的两种运动形式——机械运动和电磁运动的描述上，保留了质点力学、刚体力学、振动与波动、电磁学和波动光学的内容。

2. 为了不影响学生对物理学有一个相对完整和系统的了解，在本书的绪论中扩充了一些新的内容，力图使学生对物理学的全貌有一个“概览”，加深学生对物理学的认识，激发学生在学习物理学的积极性。

3. 为了加强师生互动，激发学生学习物理的兴趣，培养学生的自学能力和表达能力，本书增加了“阅读与讨论”专题，用于课堂讨论。可以由学生自愿组成学习小组，小组成员分工、合作，准备资料和课件，并在课堂上展示他们的才能。

4. 适应大众化高等教育的特点，淡化数学推导，内容深浅适度，着重突出重点难点讲解。在介绍基础知识的同时注意强调物理科学的生活实用性和技术应用性，补充了一些物理学原理在日常生产和生活中的应用和一些污染的危害与防控知识。

5. 在各章习题的选取上，注意紧紧围绕教材基本内容，降低难度要求，避开数学困难。题目以简答题、选择题、填空题和计算题等多种形式出现，着重考查学生对最基本知识的理解和掌握。

6. 注意了教材的普遍适用性。力图使本书可以作为一般高等院校或二级学院在以下几



种情况的物理教材和参考书：

- (1) 一部分工科专业的本科“少学时”物理课程；
- (2) 工科各专业的专科和“专升本”物理课程；
- (3) 一部分非工科专业本科、专科物理课程。

本书的编写得到了北京联合大学教育教学研究项目的资助，也得到了物理教研室各位教师的帮助，在此一并表示感谢。

本书由姚淑娜担任主编，制订全书的框架并组织编写，孙会娟、母小云参加编写。具体分工如下：前言、篇头、阅读与讨论专题、第0章、第3章、第8章、第9章、第10章、各章的习题及答案，由姚淑娜编写；第1章、第2章、第4章、第5章由孙会娟编写；第6章、第7章由母小云编写。

本书的编写是对大学物理教材的一种探索性的尝试，融入了作者的一些想法。但由于写作水平的限制和认识的局限性，书中难免出现一些偏差、疏漏和不妥之处，恳请专家和同行批评指正。

编 者

2008年3月

目 录

第2版前言	
第1版前言	
第0章 绪论——物理学概览	1
0.1 物理学——穷万物之理	1
0.2 物理学是科学的基石和技术的先导	13
0.3 物理学的科学思想和研究方法	19
0.4 真与美：物理学家的最高境界	25
第1篇 机械运动	
第1章 质点的运动和力	34
1.1 质点、参考系和坐标系	34
1.2 描述质点运动的基本物理量	35
1.3 圆周运动	41
1.4 牛顿运动定律	46
1.5 力学中几种常见的力	48
1.6 牛顿运动定律的应用举例	51
1.7 单位制和量纲	52
习题	53
第2章 对称性与守恒定律	55
2.1 动量定理 动量守恒定律	55
2.2 功与能 机械能守恒定律	59
2.3 质点的角动量定理 角动量守恒定律	66
2.4 对称性与守恒定律	69
习题	76
第3章 刚体的定轴转动	78
3.1 刚体的运动	78
3.2 力矩 转动定理	79
3.3 力矩的功 转动的动能定理	84
3.4 刚体的角动量定理 角动量守恒定律	86
习题	88
第4章 相对论力学	91
4.1 力学相对性原理和伽利略变换	91
4.2 狭义相对论的基本原理 同时的相对性	93
4.3 狭义相对论的时空效应	95
4.4 洛伦兹变换	99
4.5 狭义相对论的动力学和质能关系	102
4.6 广义相对论简介	107
习题	116
第2篇 电磁运动	
第5章 静电场	120
5.1 电荷 库仑定律	120
5.2 电场与电场强度	122
5.3 静电场中的高斯定理	129
5.4 静电场力的功 电势	138
5.5 静电场中的导体和电介质	145
5.6 导体的电容 电容器	151
5.7 静电场的能量	155
习题	158
第6章 稳恒磁场	163
6.1 磁场 磁感应强度	163
6.2 毕奥-萨伐尔定律	164
6.3 磁场的高斯定理	169
6.4 磁场的安培环路定理	171
6.5 磁场对运动电荷的作用	175
6.6 磁场对载流导线的作用	179
6.7 磁介质中的磁场	183
习题	186
第7章 电磁感应 电磁场	190
7.1 电磁感应现象 法拉第电磁感应定律	190
7.2 电源的电动势	193
7.3 动生电动势	195
7.4 感生电场 感生电动势	197
7.5 自感和互感	199
7.6 磁场的能量	203
7.7 变化的电磁场 电磁波	204
习题	208
第3篇 振动 波动	
波动光学	
第8章 机械振动	212

8.1 简谐振动·····	212	11.5 气体分子平均碰撞频率和平均自由程·····	292
8.2 简谐振动的合成·····	217	背景阅读材料·····	294
8.3 阻尼振动 受迫振动 共振·····	221	气体动理论三个主要奠基人·····	294
习题·····	222	一、麦克斯韦的生平及主要成就简介·····	294
第9章 机械波 ·····	224	二、玻耳兹曼的生平及主要成就简介·····	296
9.1 机械波的产生与传播·····	224	三、克劳修斯生平及主要成就简介·····	297
9.2 平面简谐波的波函数·····	226	习题·····	299
9.3 波的能量与强度·····	229	第12章 热力学基础 ·····	302
9.4 惠更斯原理 波的衍射·····	231	12.1 热力学的基本观点和基本概念·····	302
9.5 波的叠加原理 波的干涉·····	232	12.2 热力学第一定律及其应用·····	305
9.6 多普勒效应·····	236	12.3 理想气体的绝热过程·····	310
9.7 声波及其技术应用·····	238	12.4 循环过程 卡诺循环·····	313
习题·····	242	12.5 热力学第二定律·····	318
第10章 波动光学 ·····	245	背景阅读材料·····	322
10.1 光的相干性·····	245	能量转化和守恒定律的发现·····	322
10.2 由分波阵面法产生的光的干涉·····	246	一、迈尔的生平及主要成就简介·····	322
10.3 光程·····	249	二、焦耳的生平及主要成就简介·····	323
10.4 由分振幅法产生的光的干涉·····	251	三、亥姆霍兹的生平及主要成就简介·····	324
10.5 迈克耳孙干涉仪·····	255	习题·····	325
10.6 光的衍射 惠更斯-菲涅耳原理·····	256	阅读与讨论一：生活中的物理学 ·····	327
10.7 夫琅禾费单缝衍射·····	257	阅读与讨论二：新能源技术 ·····	331
10.8 光栅衍射·····	261	阅读与讨论三：电磁场与电磁波应用 技术·····	341
10.9 光学仪器的分辨本领·····	265	阅读与讨论四：现代光学及光子技术的应用 ·····	350
10.10 光的偏振及应用·····	267	附录 ·····	356
习题·····	272	物理学中常用的矢量知识·····	356
第4篇 热运动		习题（计算题）答案 ·····	360
第11章 气体动理论 ·····	276	参考文献 ·····	365
11.1 理想气体 理想气体状态方程·····	276		
11.2 理想气体压强与温度的微观解释·····	282		
11.3 能量均分定理 理想气体的内能·····	285		
11.4 气体分子速率分布律·····	288		

第 0 章 绪论——物理学概览

0.1 物理学——穷万物之理

物理学是研究自然的科学。古希腊人把所有对自然界的观察与思考，笼统地包含在一门学问里，称之为自然哲学（英文的 physics 就是源于古希腊的 physis）。这种称呼一直延续到 17 世纪，当时，牛顿在 1687 年发表的经典力学著作就起名为《自然哲学的数学原理》。所以，研究物理学是从认识自然界开始的。

随着人类对自然界认识的深入和广泛，物理学作为一门专门的学科被划分出来，到了“学科如林”的今天，它已经长成一棵枝繁叶茂的参天大树。物理学作为研究大自然的学科，正是由于自然界的丰富多彩和变化万千，决定了其博大精深和包罗万象。“穷万物之理”已成为物理学的终极目标。

据学者考证，中国汉语“物理学”一词的来源可以追溯到 20 世纪初，在此之前“物理学”叫做“格物学”、“格致学”。晚清时期开洋务，曾国藩在上海建立江南制造局，翻译此类书籍，曾经一度使用“格致”或“格物”统称包括声、光、化、电在内的自然科学知识，后来化学从中划分出去，“格物学”进一步缩小了范围。“格致”或“格物”即“格物致知”，源自中国传统教育里最重要的“四书”之一的《礼记·大学》，《大学》说：“致知在格物，物格而后知至。”意思是：只有反复思考推究，才能明白“物之本末，事之始终”。《大学章句》中说：“格，至也。物，犹事也。穷至事物之理，欲其极处无不到也。”大意是指穷尽事物的原理而获得知识。因此，从这个意义上来说，“格致”或“格物”与“物理”即“事物之理”的含义是相同的。1900 年，上海江南制造局译刊《物理学》一书的这个书名即是袭用了日文名称物理（ぶつり）而未作改变。该书由日本物理学家饭盛挺造（いいもりていぞう）（1851—1916）编著；中文译本由日本东洋学家藤田丰八（フジタトヨハチ）（1869—1929）翻译，我国学者王季烈（1873—1952）重编。这是在我国首次正式使用“物理学”一词作为学科的名称。数年之后，在我国终于逐渐统一采用了具有近代科学含义的学科名称“物理学”。

0.1.1 空间与时间

物理学“穷万物之理”，万物皆在宇宙中。什么是宇宙？“宇”为空间，“宙”为时间，宇宙就是时空的总和。自然界的万物都存在于空间和时间中，万物也以时间和空间体现它们的存在。空间是物质存在的一种客观形式，由长度、宽度和高度表示出来，是物质存在的广延性和伸张性的表现，一般由物质存在或运动所占有的体积来表示；时间是物质存在的另一种客观形式，是由过去、现在和将来构成的连绵不断的系统，是物质运动、变化的持续性和顺序性的表现，一般体现为物质以某种形式存在的寿命和运动过程所占有的时间。现在我们从空间和时间两个尺度来了解一下人类目前所探知到的一些宇宙中的物体。

1. 空间尺度

我们把自然界按空间尺度分成四个等级：微观、介观、宏观、宇观。微观世界是尺度最小的等级，为 $10^{-18} \sim 10^{-10} \text{ m}$ 的数量级；介观世界是介于微观与宏观之间的尺度，大约为 $10^{-9} \sim 10^{-7} \text{ m}$ 的数量级；宏观世界的尺度为 $10^{-6} \sim 10^{11} \text{ m}$ 的数量级；宇观世界的尺度为 $10^{12} \sim 10^{26} \text{ m}$ 的数量级。

下面从大到小排列出自然界中常见的一些物体的空间尺度的数量级（单位为 m）：

10^{26}	宇宙大小
10^{23}	星系团大小
10^{22}	邻近星系间的距离
10^{21}	地球到最近的河外星系的距离
10^{20}	地球到银河系中心的距离
10^{18}	视差法测定的最大距离
10^{17}	太阳到天狼星的距离
10^{16}	地球到最近的恒星的距离
10^{12}	冥王星轨道半径
10^{11}	地球到太阳的距离
10^9	太阳半径
10^8	地球到月亮的平均距离
10^7	地球半径
10^6	月球赤道的半径
10^5	马拉松赛跑的距离
10^3	地球上的高山
10^2	火车、大船的长度
10^1	楼房的高度
10^0	人的高度
10^{-1}	人手掌的宽度
10^{-2}	一分硬币的半径
10^{-3}	砂粒
10^{-4}	人的毛发粗细
10^{-5}	一般细菌的大小
10^{-6}	鞭毛细菌的大小
10^{-7}	带色肥皂泡最薄处的厚度
10^{-8}	常温下普通气体中气体分子的平均自由程
10^{-9}	橄榄油等单分子层单层的厚度
10^{-10}	金属中原子间的距离
10^{-12}	密度高的恒星中原子间的距离
10^{-13}	重核元素
10^{-15}	原子核、质子、中子
10^{-18}	电子和夸克

2. 时间尺度

大自然中的物质及其运动，它们的各项进程都是在一定的时间内完成的，进程的长短也是由时间来描述的。下面从大到小排列出自自然界中常见的一些时间尺度的数量级（单位为 s）：

10^{18}	宇宙寿命
10^{17}	太阳和地球的年龄、U235 半衰期
10^{16}	太阳绕银河中心运动的周期
10^{12}	生命的发展、地壳的重大变化
10^{11}	人类文明史
10^9	哈雷彗星绕太阳运动的周期、人的寿命
10^7	地球公转周期
10^4	地球自转周期
10^3	中子寿命
10^0	脉冲星周期
10^{-3}	声波振动周期
10^{-6}	μ 子寿命
10^{-8}	π^+ 、 π^- 介子寿命
10^{-12}	分子转动周期
10^{-14}	原子振动周期
10^{-15}	可见光周期
10^{-25}	中间玻色子 Z_0 寿命

0.1.2 对物质的认识过程：物理学的发展史

人类对自然界万物的认识过程就是物理学的诞生和发展的过程。在物理学的发展历史中，贯穿了人类对自然界的认识从表到里、从浅入深、去粗取精、去伪存真、从低级到高级的过程。因此，关于对物理学发展史的分期，涉及对物理学发展过程内部结构及其阶段特征的认识问题，存在着不同的分期原则。有按年代分期的，这是最常用的形式主义的分期方法；有按著名历史人物分期的，这种划分由于以人物为中心，往往表现出很大的随机性，反映不出各时代的经济特点和物理学的内在发展逻辑，反映不出科学认识发展的一般规律；也有按社会经济形态分期的，但是又由于物理学作为一门自然科学，它不属于上层建筑，与经济基础的变更也不是完全吻合，所以这并不是一种完善的分期原则；还有按自然观与世界观的特点分期的，但是物理学的发展虽然受到哲学思想的重大影响，但不能把物理学和哲学混同起来，物理学史也不等同于哲学史，所以这种分期方法也是不妥的；有的以物理学的各分支为线索按年代顺序编排，这种编排方法显得有些零乱。目前比较公认的是按物理学自身发展的特点分期，即把物理学的发展按时间顺序分为若干时期，在每一时期中找出一些具有表征性的特点，这主要是根据物理学发展的内在逻辑分期的，采用这一分期原则既可兼顾到社会生产和社会经济形态的影响，又能揭示出贯穿于物理学发展过程中的内在规律性。下面介绍两种划分方法。

1. 按时间顺序划分为四个时期

(1) 经验物理的萌芽时期（17 世纪以前） 在这一时期内我国和古希腊形成两个东西

方交相辉映的文化中心。经验科学已从生产劳动中逐渐分化出来,这时人类认识自然界的主要方法是直觉观察与哲学的猜测性思辨,与生产活动及人们自身直接感觉有关的天文、力、热、声、几何光学等知识首先得到较多发展。除希腊的静力学外,中国古代在以上几方面都处于当时的领先地位。

(2) 经典物理学的建立和发展时期(17世纪初—19世纪末) 这时资本主义生产促进了技术与科学的发展,形成了比较完整的经典物理学体系。系统的观察实验和严密的数学推导相结合的方法被引进物理学中,导致了17世纪主要在天文学和力学领域中的“科学革命”。牛顿力学体系的建立,标志着经典物理学的诞生。经过18世纪的准备,物理学在19世纪获得了迅速和重要的发展。终于在19世纪末以经典力学、热力学和统计物理学、经典电磁场理论为支柱,使经典物理学的发展达到了它的顶峰。

(3) 近代物理学时期(19世纪末—20世纪30年代) 19世纪末叶,一系列重大实验发现使经典物理学体系本身遇到了不可克服的危机,由此爆发了一场物理学革命,这场物理学革命的结果导致了相对论和量子力学的建立,并促进了天体物理学、现代宇宙学、原子物理学、粒子物理学以及相互作用统一理论的飞速发展。在实验手段、数学工具和逻辑推理方法等方面也都大大前进了一步。

(4) 现代物理学时期(20世纪40年代至今) 从20世纪初期开始,随着物理学向其他科学的移植和渗透,交叉科学大量涌现,物理学规律和方法的应用范围也在不断扩大。人们预料,21世纪的物理学必将产生突破性的发展,因此还有学者提出把20世纪40年代以来的物理学发展前沿定义为“后现代物理学时期”。显然,随着科学的发展、社会的进步,物理学的各个历史分期的时间间隔越来越短,说明物理科学的发展速度越来越快。

2. 按认识规律划分为五次大综合

(1) 天上力学与地上力学的综合统一 经典力学的建立从开普勒开始,经过伽利略的努力,特别是经过牛顿的综合,前后经历了近80年,完成了物理学发展史上的第一次大综合——“天上力学”与“地上力学”的综合与统一。随后又经历了分析力学的发展,使经典力学到达了发展的顶峰。虽然到了19世纪末20世纪初,经典力学日益暴露出种种缺陷,但是在日常生活中,绝大部分宏观物体的低速运动仍然要以它作为研究的理论基础。特别是这些科学家们在创建经典力学的过程中所体现的物理思想和所采用的科学方法,在科学的发展中将永放光芒。

(2) 各种运动形式之间的综合统一 热学发展史实际上就是经典热力学和统计物理学的发展史。从17世纪开始对热学的研究,从对热的本性认识的争论,到建立分子运动论和热力学第一定律、第二定律,尔后又产生了统计热力学,最后出现了量子统计物理学和非平衡态理论。分子运动论和热力学从微观和宏观两个方面互相补充,统计物理学又使宏观现象的微观机制得到淋漓尽致的表达,它们一起推动了人类对自然界热现象的深刻认识,得出了力、热、电、光等不同形式的运动之间的转换和统一的规律——能量守恒和转换定律,完成了物理学发展的第二次大综合。

(3) 电、磁、光三种运动形式的综合统一 在经典电磁学的建立过程中有三个里程碑:首先是1831年法拉第发现了电磁感应现象;然后是麦克斯韦研究电场与磁场的关系,于1873年揭示出电磁现象的内部规律,预见了电磁波,将电、磁、光三种不同的运动形式统一在同一个规律中;接下来是赫兹于1887年通过实验验证了麦克斯韦关于电磁波的预言。

交变的电磁场在空间以光速传播的理论,使表面上看起来不相关的电场、磁场和光波联系在一起,形成了物理学史上的第三次大综合。

(4) 低速运动与高速运动的综合统一 爱因斯坦的狭义相对论和广义相对论,打破了传统的牛顿力学的绝对时空观,使人们对时间、空间、物质和能量的认识产生了革命性的飞跃,并在新的高度上把低速运动和高速运动统一起来,使牛顿力学所研究的宏观低速运动成为一种运动速度远远小于光速时的特例,从而完成了物理学史上的第四次大综合。

(5) 连续性与不连续性的综合统一 普朗克于1900年提出量子论,突破了经典物理的连续性原理;爱因斯坦用光量子理论对光电效应进行了解释;薛定谔方程所表述的物质的波粒二象性最终导致量子力学的建立。狄拉克又给出了量子力学和牛顿力学之间的联系,还有其他几位科学家的共同努力,使人们对物质本性的认识从连续到不连续——量子化,并把二者统一起来,形成物理学发展史上的第五次大综合。

20世纪30年代以来,物理学在深度和广度上又取得了巨大进展。首先在相对论和量子力学的交汇处探讨这两门学科结合的可能性,同时研究引力、电磁力和弱相互作用的统一场论已基本成功,人们正向着四种相互作用(引力、电磁力、强相互作用和弱相互作用)的大统一场论进军。这意味着物理世界又将面临一次新的综合与统一。

0.1.3 物理学大家族:丰富的学科分支

人类对自然界的认识来自于实践,随着实践活动的扩展和深入,物理学的内容也在不断地丰富和发展,物理学逐步发展成为具有众多分支学科的大家族,各分支学科彼此密切联系,构成了物理学的统一整体,成为研究宇宙间物质存在的基本形式及相互作用和转化的基本规律的科学。

物理学的各分支学科是按物质的不同存在形式、不同运动形式或不同研究领域划分的。物质世界的丰富性、多样性和复杂性决定了物理学的分支众多,这些分支学科既相互区别又相互联系,体现了物质世界的内在和谐性和物理科学的统一性。

20世纪前,物理学的分支主要是按照物质运动形式来划分的。例如,机械运动——经典力学,热运动——热学、热力学、经典统计力学,电磁运动——经典电磁学、经典电动力学、光学等,这些分支的总和构成了经典物理学。20世纪以后,随着科学的发展和近代物理学的兴起,又不断生长出新的分支学科,例如量子力学、相对论力学、电动力学、信息光学、激光物理学、非线性物理学、计算物理学等。

按照研究领域来划分物理学的分支,有天体物理学、地球物理学、海洋物理学、大气物理学、生物物理学、环境物理学、高压物理学、理论物理学、实验物理学、工程物理学、技术物理学、体育物理学、医学物理学、经济物理学(金融物理学)、低温物理学、超导物理学、金属物理学、半导体物理学、无线电物理学、材料物理学、磁性物理学、电真空物理学等;按照物质的特定存在形态来划分,物理学的分支有固体物理学、液态物理学、凝聚态物理学、等离子体物理学等;按照物质所属结构和层次来划分,物理学的分支有原子核物理学、原子和分子物理学、粒子物理学、介观物理学、表面物理学等。

物理学的各个分支在具体的应用中还有更深层次的分支,例如,力学中有爆炸力学、空气动力学、流体力学、材料力学等分支;环境物理学又分为环境声学、环境光学、环境热学、环境电磁学、环境空气动力学等。

随着科学、技术与社会的发展,物理学科与其他学科之间相互交叉和融合,还形成一系列交叉科学,例如物理化学、量子化学、物理电子学、光电子学等。同时,物理学的研究成果也不断向其他科学移植与渗透。可以预见,未来物理学的分支会越来越多,与其他学科的交叉也会越来越丰富。

下面介绍一些物理学中最基本的分支,以便读者对物理科学的面貌有一个概括性的认识。

1. 经典力学

经典力学是研究宏观物体作低速机械运动的现象和规律的学科。宏观是相对于原子等微观粒子而言的;低速是相对于光速而言的。物体的空间位置随时间的变化称为机械运动。人们日常生活中直接接触到并首先加以研究的都是宏观低速的机械运动。

自远古以来,由于农业生产需要确定季节,人们就进行天文观察。16 世纪后期,人们对行星绕太阳的运动进行了详细、精密的观察。17 世纪,开普勒从这些观察结果中总结出了行星绕日运动的三条经验规律。差不多在同一时期,伽利略进行了落体和抛物体的实验研究,从而提出关于机械运动现象的初步理论。

牛顿深入研究了这些经验规律和初步的现象性理论,发现了宏观低速机械运动的基本规律,为经典力学奠定了基础。亚当斯根据对天王星的详细天文观察,并根据牛顿的理论,预言了海王星的存在,以后果然在天文观察中发现了海王星。于是牛顿所提出的力学定律和万有引力定律被人们普遍接受。

经典力学中的基本物理量是质点的空间坐标和动量。对于一个不受外界影响,也不影响外界,不包含其他运动形式(如热运动、电磁运动等)的力学系统来说,它的总机械能就是其中每一个质点的空间坐标和动量的函数,其状态随时间的变化由总能量决定。

在经典力学中,力学系统的总能量和总动量有特别重要的意义。物理学的发展表明,任何一个孤立的物理系统无论怎样变化,其总能量和总动量的数值是不变的。这种守恒性质的适用范围已经远远超出了经典力学的范围,到现在还没有发现它们的局限性。

早在 19 世纪,经典力学已经成为物理学中十分成熟的分支学科之一,它包含了丰富的内容,例如质点力学、刚体力学、分析力学、弹性力学、塑性力学、流体力学等。经典力学的应用范围涉及能源、航空、航天、机械、建筑、水利、矿山建设直到安全防护等各个领域。当然,工程技术问题常常是综合性的问题,还需要许多学科进行综合研究,才能得以完全解决。

在机械运动中,很普遍的一种运动形式就是振动和波动。声学就是研究这种运动的产生、传播、转化和吸收的分支学科。人们通过声波传递信息,有许多物体不易为光波和电磁波透过,却能为声波透过;频率非常低的声波能在大气和海洋中传播到遥远的地方,因此能迅速传递地球上任何地方发生的地震、火山爆发或核爆炸的信息;频率很高的声波和声表面波已经用于固体的研究、微波技术、医疗诊断等领域;非常强的声波已经用于工业加工等。

2. 热学、热力学和经典统计力学

热学是研究热的产生和传导,研究物质处于热状态下的性质及其变化的学科。人们很早就有冷热的概念。对于热现象的研究逐步澄清了关于热的一些模糊概念,例如区分了温度和热量,并在此基础上开始探索热现象的本质和普遍规律。关于热现象的普遍规律的研究称为热力学。到 19 世纪,热力学已趋于成熟。

物体有内部运动,因此就有内部能量。19 世纪的系统实验研究证明:热是物体内部无序运动的表现。19 世纪中期,焦耳等人用实验确定了热量和功之间的定量关系,从而建立了热力学第一定律:宏观机械运动的能量与内能可以互相转化。就一个孤立的物理系统来说,不论能量形式怎样相互转化,总的能量的数值是不变的。因此,热力学第一定律就是能量守恒与转换定律的一种表现。

在卡诺研究结果的基础上,克劳修斯等科学家提出了热力学第二定律,表达了宏观非平衡过程的不可逆性。例如:一个孤立的物体,其内部各处的温度不尽相同,那么热量就从温度较高的地方流向温度较低的地方,最后达到各处温度都相同的状态,也就是热平衡的状态。相反的过程是不可能的,即这个孤立的、内部各处温度都相等的物体,不可能自动回到各处温度不相同的状态。应用熵的概念,还可以把热力学第二定律表达为:一个孤立的物理系统的熵不会随着时间的流逝而减少,只能增加或保持不变。当熵达到最大值时,物理系统就处于热平衡状态。

深入研究热现象的本质,就产生了统计力学。统计力学应用数学中统计分析的方法,研究大量粒子的平均行为。统计力学根据物质的微观组成和相互作用,研究由大量粒子组成的宏观物体的性质和行为的统计规律,是理论物理的一个重要分支。

非平衡统计力学所研究的问题复杂,直到 20 世纪中期以后才取得比较大的进展。对于一个包含有大量粒子的宏观物理系统来说,系统处于无序状态的概率超过了处于有序状态的概率。孤立物理系统总是从比较有序的状态趋向比较无序的状态,在热力学中,这就相应于熵的增加。

处于平衡状态附近的非平衡系统的主要趋向是向平衡状态过渡。平衡态附近的主要非平衡过程是弛豫、输运和涨落,这方面的理论逐步发展,已趋于成熟。近二三十年来人们对于远离平衡态的物理系统(如耗散结构等)进行了广泛的研究,取得了很大的进展,但还有很多问题等待解决。

在一定时期内,人们对客观世界的认识总是有局限性的,认识到的只是相对的真理,经典力学和以经典力学为基础的经典统计力学也是这样。经典力学应用于原子、分子以及宏观物体的微观结构时,其局限性就显现了出来,因而量子力学应运而生。与之相应,经典统计力学也发展成为以量子力学为基础的量子统计力学。

3. 经典电磁学、经典电动力学

经典电磁学是研究宏观电磁现象和宏观物体的电磁性质的学科。人们很早就接触到电和磁的现象,并知道磁棒有南北两极。在 18 世纪,发现电荷有两种:正电荷和负电荷。不论是电荷还是磁极都是同性相斥,异性相吸,作用力的方向在电荷之间或磁极之间的连接线上,力的大小和它们之间的距离的平方成反比。在这两点上和万有引力很相似。18 世纪末发现电荷能够流动,这就是电流。但是人们长期没有发现电和磁之间的联系。

直到 19 世纪前期,奥斯特发现电流可以使小磁针偏转。尔后安培发现作用力的方向和电流的方向以及磁针到通电导线的垂直线方向相互垂直。不久之后,法拉第又发现,当磁棒插入导线圈时,导线圈中就产生电流。这些实验表明,在电和磁之间存在着密切的联系。

在电和磁之间的联系被发现以后,人们认识到电磁力的性质在一些方面同万有引力相似,另一些方面却又有差别。为此法拉第引进了“力线”的概念,认为电流产生围绕着导线的“磁力线”,电荷向各个方向产生“电力线”,并在此基础上产生了电磁场的概念。

现在人们认识到,电磁场是物质存在的一种特殊形式。电荷在其周围产生电场,这个电场又以力作用于其他电荷。磁体和电流在其周围产生磁场,而这个磁场又以力作用于其他磁体和内部有电流的物体。电磁场也具有能量和动量,是传递电磁力的媒介,它弥漫于整个空间。

19 世纪下半叶,麦克斯韦总结了宏观电磁现象的规律,并引进位移电流的概念。这个概念的核心思想是:变化着的电场能产生磁场;变化着的磁场也能产生电场。在此基础上他用一组偏微分方程来表达电磁现象的基本规律,这套方程称为麦克斯韦方程组,是经典电磁学的基本方程。麦克斯韦的电磁理论预言了电磁波的存在,其传播速度等于光速,这一预言后来为赫兹的实验所证实。于是人们认识到麦克斯韦的电磁理论正确地反映了宏观电磁现象的规律,肯定了光也是一种电磁波。

由于电磁场能够以力作用于带电粒子,一个运动中的带电粒子既受到电场力的作用,也受到磁场力的作用,洛伦兹把运动电荷所受到的电磁场的作用力归结为一个公式,人们就称这个力为洛伦兹力。描述电磁场基本规律的麦克斯韦方程组和洛伦兹力构成了经典电动力学的基础。

事实上,发电机就是利用电动力学的规律,将机械能转化为电磁能;电动机就是利用电动力学的规律将电磁能转化为机械能。电报、电话、无线电、电灯也无一不是经典电磁学和经典电动力学发展的产物。经典电动力学对生产力的发展起着重要的推动作用,从而对社会产生普遍而重要的影响。

4. 光学和电磁波

光学研究光的性质及光与物质的各种相互作用。虽然可见光的波长范围在电磁波中只占很窄的一个波段,但是早在人们认识到光是电磁波以前,人们就对光进行了研究。

17 世纪对光的本质提出了两种假说:一种假说认为光是由许多微粒组成的;另一种假说认为光是一种波动。19 世纪在实验上确定了光具有波动所独具的干涉现象,以后的实验证明光是电磁波,20 世纪初又发现光具有粒子性。人们在深入研究了微观世界后,才认识到光具有波粒二象性。

光可以被物质所发射、吸收、反射、折射和衍射。当所研究的物体或空间的大小远大于光波的波长时,光可以当做沿直线进行的光线来处理;但当研究深入到现象的细节,当其空间范围和光波波长差不多大小的时候,就必须要考虑光的波动性;而研究光和微观粒子的相互作用时,还要考虑光的粒子性。

光学方法是研究大至天体、小至微生物以至于分子、原子结构的非常有效的方法。利用光的干涉效应可以进行非常精密的测量。物质所放出来的光携带着关于物质内部结构的重要信息,例如原子所放出来的原子光谱就和原子结构密切相关。

利用受激辐射机制所产生的激光能够达到非常大的功率,且光束的张角非常小,其电场强度甚至可以超过原子内部的电场强度。利用激光已经开辟了非线性光学等重要研究方向,激光在工业技术和医学中已经有了很多重要的应用。

现在用人工方法产生的电磁波的波长,长的已经达几千米,短的不到一百万亿分之一厘米,覆盖了近 20 个数量级的波段。电磁波的传播速度大,波段又如此宽广,已成为传递信息的非常有力的工具。

在经典电磁学的建立与发展过程中,形成了电磁场的概念。在物理学其后的发展中,场

成了非常基本、非常普遍的概念。在现代物理学中，场的概念已经远远超出了电磁学的范围，成为物质的一种基本的、普遍的存在形式。

5. 狭义相对论和相对论力学

在经典力学取得很大成功以后，人们习惯于将一切现象都归结为是由机械运动所引起的。在电磁场概念提出以后，人们假设存在一种名叫“以太”的媒质，它弥漫于整个宇宙，渗透到所有的物体中，绝对静止不动，没有质量，对物体的运动不产生任何阻力，也不受万有引力的影响。可以将以太作为一个绝对静止的参考系，因此，相对于以太作匀速运动的参考系都是惯性参考系。

在惯性参考系中观察，电磁波的传播速度应该随着波的传播方向而改变。但实验表明，在不同的、相对作匀速运动的惯性参考系中，测得的光速同传播方向无关。特别是迈克尔逊和莫雷进行的非常精确的实验，可靠地证明了这一点。这一实验事实显然同经典物理学中关于时间、空间和以太的概念相矛盾。爱因斯坦从这些实验事实出发，对空间、时间的概念进行了深刻的分析，提出了狭义相对论，从而建立了新的时空观念。

在狭义相对论中，空间和时间是彼此密切联系的统一体，空间距离是相对的，时间也是相对的。因此，尺的长短、时间的长短也是相对的。

相对论力学的另一个重要结论是：质量和能量是可以相互转化的。假使质量是物质的量的一种量度，能量是运动的量的一种量度，则按上面的结论有：物质和运动之间存在着不可分割的联系，不存在没有运动的物质，也不存在没有物质的运动，两者可以相互转化。这一规律已在核能的研究和实践中得到了证实。

当物体的速度远小于光速时，相对论力学定律就趋近于经典力学定律。因此，在低速运动时，经典力学定律仍然是很好的相对真理，非常适合用来解决工程技术中的力学问题。

狭义相对论对空间和时间的概念进行了革命性的变革，并且否定了以太的概念，肯定了电磁场是一种独立的、物质存在的特殊形式。由于空间和时间是物质存在的普遍形式，所以狭义相对论对于物理学产生了广泛而又深远的影响。

6. 广义相对论和万有引力的基本理论

狭义相对论给牛顿万有引力定律带来了新问题。牛顿提出的万有引力被认为是一种超距作用，它的传递不需要时间，产生和到达是同时的。这同狭义相对论提出的光速是传播速度的极限相矛盾。因此，对牛顿的万有引力定律也要加以改造。

改造的关键来自厄缶的实验，它以很高的精度证明：惯性质量和引力质量相等，因此，不论行星的质量多大多小，只要在某一时刻它们的空间坐标和速度都相同，那么它们的运行轨道都将永远相同。这个结论启发了爱因斯坦：万有引力效应是空间、时间弯曲的一种表现，从而提出了广义相对论。

根据广义相对论，空间、时间的弯曲结构决定于物质的能量密度和动量密度在空间、时间中的分布；而空间、时间的弯曲结构又反过来决定物体的运行轨道。在引力不强、空间和时间弯曲度很小的情况下，广义相对论的结论同牛顿万有引力定律和牛顿运动定律的结论趋于一致；在引力较强、空间和时间弯曲较大的情况下，就有区别。不过这种区别常常很小，难以在实验中观察到。从广义相对论的提出到现在，还只有四种实验能检验出这种区别。

广义相对论不仅对于天体的结构和演化的研究有重要意义，而且对于研究宇宙的结构和演化也有重要意义。