



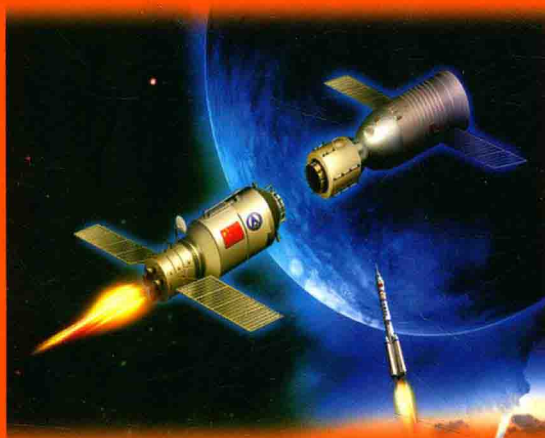
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

DAXUE WULI

# 大学物理

主编◎ 罗益民 余燕 主审◎ 叶善专

(第3版)  
【上】



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 大学物理

(第3版)

(上)

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 主 编 | 罗益民 | 余 燕 |
| 副主编 | 曾卫东 | 成 运 |
| 主 审 | 叶善专 |     |

北京邮电大学出版社

• 北京 •

## 内 容 简 介

本书依据教育部颁布的《理工科非物理类专业大学物理课程教学基本要求》，并结合编者多年的教学经验编写而成，本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

全书分上、下两册，上册内容有质点运动学、质点动力学、刚体的转动、静电场、静电场中的导体和电介质、稳恒磁场、电磁感应和电磁场；下册内容包括振动、波动、光学、气体动理论、热力学基础、狭义相对论、量子力学基础、原子核物理和粒子物理简介。此外，为开阔学生的视野，书中选编了若干篇阅读材料，内容涉及物理学研究前沿、物理学最新研究成果及物理学应用等方面的知识。考虑到非物理专业的实际情况，全书着重于物理学基本概念、基本知识及思维方式介绍，尽量避免一些繁琐的数学运算，力求使用通俗化的语言。书中插图由专业人员利用最新计算机软件绘制而成，表达准确、图像精美，因而可读性强。

本书可作为高等学校各专业大学物理课程教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

大学物理. 上/罗益民,余燕主编. —3版. —北京:北京邮电大学出版社,2015.1(2016.1重印)

ISBN 978-7-5635-4277-2

I. ①大… II. ①罗… ②余… III. ①物理学—高等学校—教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 304417 号

|      |                                                      |
|------|------------------------------------------------------|
| 书 名  | 大学物理(第3版)(上)                                         |
| 主 编  | 罗益民 余 燕                                              |
| 责任编辑 | 唐咸荣                                                  |
| 出版发行 | 北京邮电大学出版社                                            |
| 社 址  | 北京市海淀区西土城路10号(100876)                                |
| 电话传真 | 010-82333010 62282185(发行部) 010-82333009 62283578(传真) |
| 网 址  | www.buptpress3.com                                   |
| 电子信箱 | ctrd@buptpress.com                                   |
| 经 销  | 各地新华书店                                               |
| 印 刷  | 北京泽宇印刷有限公司                                           |
| 开 本  | 787 mm×1 092 mm 1/16                                 |
| 印 张  | 17.5                                                 |
| 字 数  | 459 千字                                               |
| 版 次  | 2015年1月第3版 2016年1月第4次印刷                              |

ISBN 978-7-5635-4277-2

定价: 36.00 元

如有质量问题请与发行部联系

版权所有 侵权必究

## 序

物理学是研究物质的组成、性质、运动和相互作用,并以此阐明物质运动规律的科学.它是自然科学中最重要的基础学科之一.物理学的基本概念、方法和知识已被应用到所有的自然科学领域,因此,大学物理是一门不可替代的基础课.

大学生培养从应试教育向素质教育的转变,对大学物理课程提出了新的要求:在传授物理知识的同时,应特别注重向学生传授有关物理学的研究方法和思维方式,以提高学生的科学素质.

物理学内容广泛,难度不一.作为一名工科大学生,学习大学物理的时间和精力有限,要想在较短的时间内掌握尽可能多的物理知识,选择一本好的教材尤为重要.

这套教材将传统编写思路发扬光大,兼顾了科学发现的历史顺序和科学本身的逻辑关系.教材由浅入深地讲述了物理学基本概念,形象地描绘了物理模型,适当地介绍了物理学在其他学科和新技术领域的应用,特别是用普通物理的语言讲述了近代物理的内容,使得整套教材的可接受性突出;教材淡化了复杂的数学运算,突出了物理概念的重要性;阅读材料的选择兼顾了物理知识的应用,也反映了物理学发展的前沿动态.全套教材的编写紧扣教学大纲,密切联系了工科专业大学物理教学的实际,富有创意和特色.教材选材合理,理论严谨,内容深入浅出,语言通俗易懂,很适合于初学者阅读.

中南大学是全国工科物理教学基地之一,参加本书编写的教师多年来一直从事大学物理教学工作,有着丰富的教学经验,为基地建设作出过很大的贡献,对大学物理课程教学有深刻的认识.该套教材也是编者们对基地建设经验的总结,凝聚了编者多年的心血,是一本难得的好书.

本人有感于他们对物理教材建设和工科专业大学物理教育所作的努力和贡献,特为之序.



钱列加 谨识  
于上海交通大学

## 第3版前言

随着近年来教学改革的不深入,大学基础物理课程的重要性更加突出,很多文科类专业都开设了大学物理课程,这不仅体现了大学物理课程是学习相关专业知识的基础,更是培养学生树立科学世界观、增强分析和解决问题的能力、建立探索和创新意识的一门素质教育课程,而且还是现代信息化社会背景下应该掌握的基本知识.为适应“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”的需要,根据教育部颁布的《理工科非物理类专业大学物理课程教学基本要求》,编者结合自己多年的教学实践经验,并融合了国家工科物理教学基地、国家精品课程以及国家级精品资源共享课建设的成果编写成了这套教材.至今,本书已改版了三次,力求精益求精,与时俱进.

本书融合了国内外众多优秀教材的优点,以现代教育理念和现代物理思想为指导,以基础教育和素质教育为双重目标构建教材的结构体系.整套教材既继承了传统教学内容的框架,又增加了反映现代科技发展方向的前沿内容,除介绍物理学基本内容外,还适当穿插了物理学发展历史及研究方法的介绍,内容由浅入深,重点、难点突出.既能满足大学物理教学的需要,又能为素质教育作出一定的贡献是编写本书的出发点;语言通俗易懂、读起来生动有趣是编者追求的目标.

教材第1版自2004年出版以来,受到了任课教师和学生的普遍好评,本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材.根据多年来各高校使用情况的反馈意见和教学改革的需要,编者对第2版教材进行了适当的修改,并作为第3版推出,具体修改内容如下:

1. 为了适应各使用学校教学内容和教学课时变化的实际情况,对第2版的体系结构进行了调整,使之更加符合教学规律,框架更加紧凑,结构更加简单.尤其是狭义相对论部分,考虑到学生学习时应该遵循物理学发展历程的认识,把这部分内容结合广义相对论一起放到了第五篇近代物理基础中.

2. 随着当代社会科学技术的飞速发展,人们对高科技领域的关注越来越多,为了激发学生强烈的求知欲和好奇心,满足不同学校对近代物理知识的需求,教材对近代物理的介绍增加了大量的篇幅,以便让学生对整个近代物理知识框架有一个完整的了解.这是本书的一大特色.

3. 根据使用该书的兄弟院校的反馈,重点对一些表述不够严谨,讲述不够清楚或者不恰当的地方进行了改进.同时考虑到当前中学物理课程改革的情况和高校教学情况的变化,教材借鉴了国内外教材改革的成果,博采众长,使之更加通俗易懂、更利于教师讲授,更便于学生阅读和自学.

4. 对本书中的习题进行了改进,并增加了大量习题,主要是填空题和选择题。新的题型满足当下教学实际的需要,更加适合学生通过练习掌握物理知识。

5. 对原书中所有的插图进行了重新绘制,大部分采用实物体现,更加直观,贴近生活。而且,在篇和章的开头增加了科学插图,这些插图经过了仔细挑选,与后面讲述的内容密切相关。整体上,本书第3版更加美观实用、赏心悦目,更能激发学生的学习兴趣,也更能使学生从生活的角度加深学生对物理知识的理解和运用。

6. 对书的版式进行了精心设计,使整个版面看起来一目了然,层次分明,分类清晰,便于教学。同时,全书采用双色印刷,不但突出重点,而且美观大方。

全书分上、下两册,上册内容有质点运动学、质点动力学、刚体的转动、静电场、静电场中的导体和电介质、稳恒磁场、电磁感应和电磁场;下册内容包括振动、波动、光学、气体动理论、热力学基础、狭义相对论、量子力学基础、原子核物理和粒子物理简介。此外,为开阔学生的视野,书中选编了若干篇阅读材料,内容涉及物理学研究前沿、物理学最新研究成果及物理学应用等方面的知识。考虑到非物理专业的实际情况,全书着重于物理学基本概念、基本知识及思维方式介绍,尽量避免一些繁琐的数学运算,力求使用通俗化的语言。

本书由罗益民、余燕任主编,曾卫东、成运任副主编。参与编写和讨论的有罗益民、余燕、蔡建国、廖红、唐英、周一平、胡义嘎、雷杰、吴烨、曾卫东、成运、郑文礼、杨瑞、曹丰慧、湛雄文、张鑫、王松伟、姚青荣、成丽春、马双武、范军怀、唐咸荣、韩霞、苏文刚、赵梅、苏国强等。全书最后由罗益民、余燕负责统稿和定稿。东南大学叶善专教授认真审查了全书,提出了宝贵的指导性意见;上海交通大学钱列加教授审查了本书并为本书作序;中南大学的郑小娟老师制作了本书的电子教案并提供了全部习题答案;北京邮电大学出版社为本书的出版、发行和推广做了大量的工作。在此一并致谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,疏漏和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2014年11月

## 第2版前言

为适应“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”的需要,根据教育部颁布的《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》,编者结合自己多年的教学实践经验以及国家工科物理教学基地和国家精品课程建设的体会编写成了这套教材。

本书融合了国内外众多优秀教材的优点,以现代教育理念和现代物理思想为指导,以基础教育和素质教育为双重目标来构建了教材的结构体系。整套教材既继承了传统教学内容的框架,又增加了反映现代科技发展方向的前沿内容,除介绍物理学基本内容外,还适当穿插了物理学发展历史及研究方法的介绍,内容由浅入深,重点、难点突出。既能满足大学物理教学的需要,又能为素质教育作出一定的贡献是编写本书的出发点;语言通俗易懂、读来生动有趣是编者追求的目标。

全套教材分为《大学物理》(上、下册)和《大学物理学习指导》,共三册并配有电子教案。

本书由中南大学和武汉理工大学的老师们共同编写,中南大学是全国工科物理教学基地之一,其大学物理课程是国家精品课程。参加本书编写工作的教师多年来一直从事大学物理教学工作,对基地建设和国家精品课程建设作出了很大的贡献,对工科物理教学积累了丰富的经验并有许多独到的见解,这些经验和体会已被融入教材之中。

教材第1版自2004年出版以来,受到了任课教师和学生的普遍好评,本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。现将第1版加以修改后作为第2版推出,主要将第1版的部分章节作了调整,使之更符合大多数学校的教学安排。

本书由罗益民、余燕主编。蔡建国编写第1、2、3章;罗益民编写第4、5、6、7章;廖红编写第8、9章;唐英编写第10章;周一平编写第11、12章;雷杰编写第13章;吴烨编写第14、15章。全套书最后由罗益民、余燕负责统稿和定稿。东南大学叶善专教授认真审查了全书,提出了宝贵的指导性意见;复旦大学钱列加教授审查了本书并为本书作序;中南大学的郑小娟老师制作了本书的电子教案并提供了全部习题答案;北京邮电大学出版社为本书的出版、发行和推广做了大量的工作。在此一并致谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,疏漏和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2008年4月

# 目 录

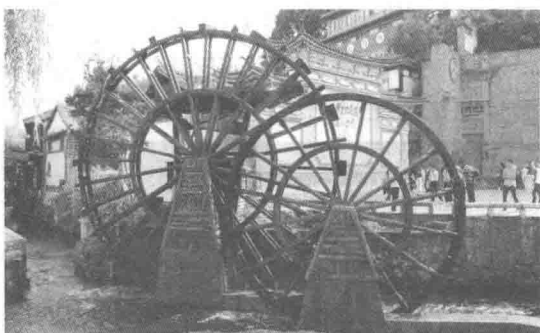
|                                                                                   |          |                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 绪论 .....                                                                          | 1        | 本章提要 .....                                                                          | 25        |
| <b>第一篇 力 学</b>                                                                    |          | 阅读材料(一) 时间和空间的本性 .....                                                              | 26        |
| <b>第 1 章 质点运动学</b>                                                                | <b>7</b> | 思考题 .....                                                                           | 28        |
| § 1.1 质点运动的描述 .....                                                               | 8        | 习题 .....                                                                            | 29        |
| 1.1.1 质点 参考系 坐标系 时间和空间 .....                                                      | 8        | <b>第 2 章 质点动力学</b>                                                                  | <b>31</b> |
| 1.1.2 位置矢量与运动方程 .....                                                             | 9        | § 2.1 牛顿运动定律 .....                                                                  | 32        |
| 1.1.3 位移与路程 .....                                                                 | 9        | 2.1.1 牛顿第一定律 .....                                                                  | 32        |
|  |          | 2.1.2 牛顿第二定律 .....                                                                  | 33        |
| 1.1.4 速度和速率 .....                                                                 | 10       | 2.1.3 牛顿第三定律 .....                                                                  | 34        |
| 1.1.5 加速度 .....                                                                   | 12       |  |           |
| 1.1.6 质点运动学的两类问题 .....                                                            | 13       | 2.1.4 牛顿定律的应用 .....                                                                 | 34        |
| § 1.2 运动叠加原理 .....                                                                | 16       | § 2.2 惯性系与非惯性系力学 .....                                                              | 37        |
| 1.2.1 运动叠加原理 .....                                                                | 16       | 2.2.1 惯性系与非惯性系 .....                                                                | 37        |
| 1.2.2 平面曲线运动 切向加速度 法向加速度 .....                                                    | 18       | 2.2.2 惯性力 .....                                                                     | 38        |
| 1.2.3 径向速度 横向速度 圆周运动的角量描述 .....                                                   | 20       | § 2.3 冲量 动量守恒定律 .....                                                               | 41        |
| § 1.3 相对运动 .....                                                                  | 23       | 2.3.1 冲量 质点的动量定理 .....                                                              | 41        |
|                                                                                   |          | 2.3.2 质点系的动量定理 .....                                                                | 43        |
|                                                                                   |          | 2.3.3 动量守恒定律 .....                                                                  | 44        |
|                                                                                   |          | * 2.3.4 火箭发射原理 .....                                                                | 48        |



|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| § 2.4 功和能 机械能守恒定律 .....         | 49 |
| 2.4.1 功 功率 .....                | 50 |
| 2.4.2 质点的动能定理 .....             | 53 |
| 2.4.3 质点系的功能原理 .....            | 54 |
| 2.4.4 机械能守恒定律与能量守恒定律 .....      | 58 |
| 本章提要 .....                      | 61 |
| 阅读材料(二) 混沌——确定论系统中的“随机行为” ..... | 62 |
| 思考题 .....                       | 67 |
| 习题 .....                        | 68 |

## 第3章 刚体的转动 73

|                       |    |
|-----------------------|----|
| § 3.1 刚体运动的描述 .....   | 74 |
| 3.1.1 平动和转动 .....     | 74 |
| 3.1.2 定轴转动的角量描述 ..... | 74 |



|                           |    |
|---------------------------|----|
| § 3.2 刚体定轴转动定律 转动惯量 ..... | 75 |
| 3.2.1 力矩 .....            | 76 |
| 3.2.2 转动定律 .....          | 78 |
| 3.2.3 转动惯量 .....          | 79 |
| 3.2.4 转动定律应用举例 .....      | 82 |
| § 3.3 刚体定轴转动的功和能 .....    | 84 |
| 3.3.1 力矩的功 .....          | 84 |
| 3.3.2 转动动能 .....          | 85 |
| 3.3.3 刚体定轴转动的动能定理 .....   | 85 |
| 3.3.4 刚体的重力势能 .....       | 86 |
| § 3.4 角动量定理 角动量守恒定律 ..... | 88 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 3.4.1 质点的角动量定理和角动量守恒定律 ..... | 88  |
| 3.4.2 刚体对定轴的角动量 .....        | 91  |
| 3.4.3 刚体定轴转动的角动量定理 .....     | 91  |
| 3.4.4 角动量守恒定律及其应用 .....      | 92  |
| § 3.5 碰撞 .....               | 95  |
| * § 3.6 刚体的进动 .....          | 98  |
| 本章提要 .....                   | 99  |
| 阅读材料(三) 对称性与守恒定律 .....       | 100 |
| 思考题 .....                    | 104 |
| 习题 .....                     | 105 |

## 第二篇 电磁学

### 第4章 静电场 109

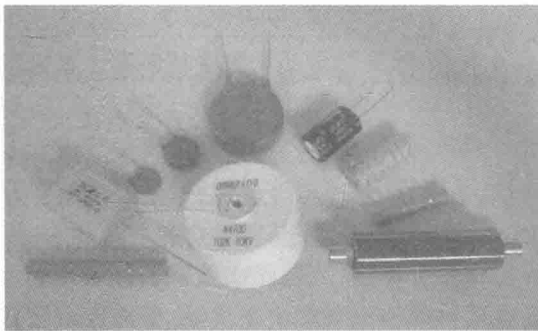
|                           |     |
|---------------------------|-----|
| § 4.1 电场强度 .....          | 110 |
| 4.1.1 电荷及其性质 .....        | 110 |
| 4.1.2 库仑定律 .....          | 111 |
| 4.1.3 电场强度 .....          | 112 |
| 4.1.4 带电体在外电场中所受的作用 ..... | 118 |



|                         |     |
|-------------------------|-----|
| § 4.2 静电场中的高斯定理 .....   | 118 |
| 4.2.1 电场强度通量 .....      | 118 |
| 4.2.2 静电场中的高斯定理 .....   | 120 |
| § 4.3 静电场的环路定理 电势 ..... | 126 |
| 4.3.1 静电场的环路定理 .....    | 126 |
| 4.3.2 电势和电势差 .....      | 128 |
| 4.3.3 等势面 电势梯度 .....    | 133 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 本章提要                    | 136 |
| 阅读材料(四) 平方反比律与库仑定律和高斯定理 | 137 |
| 思考题                     | 138 |
| 习题                      | 139 |

## 第5章 静电场中的导体和电介质 141

|                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 5.1 静电场中的导体                                                                     | 142 |
| 5.1.1 导体的静电平衡                                                                     | 142 |
| 5.1.2 有导体存在时场强与电势的计算                                                              | 143 |
| 5.1.3 静电的应用                                                                       | 145 |
|  |     |
| § 5.2 静电场中的介质                                                                     | 147 |
| 5.2.1 电介质的极化                                                                      | 147 |
| 5.2.2 电介质中的电场                                                                     | 148 |
| 5.2.3 电位移矢量 电介质中的高斯定理                                                             | 151 |
| § 5.3 静电场的能量                                                                      | 153 |
| 5.3.1 电容和电容器                                                                      | 153 |
| 5.3.2 电容器的连接                                                                      | 156 |
| 5.3.3 电容器的储能                                                                      | 157 |
| 5.3.4 静电场的能量                                                                      | 158 |
| * 5.3.5 电荷系统的静电能                                                                  | 161 |
| 本章提要                                                                              | 163 |
| 阅读材料(五) 压电效应、压电体和铁电体                                                              | 164 |
| 思考题                                                                               | 166 |
| 习题                                                                                | 166 |

## 第6章 稳恒磁场 169

|                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 6.1 磁感应强度                                                                        | 170 |
| 6.1.1 磁现象 磁场                                                                       | 170 |
| 6.1.2 电流和电流密度                                                                      | 170 |
| 6.1.3 磁感应强度                                                                        | 171 |
|  |     |
| § 6.2 磁场中的高斯定理                                                                     | 172 |
| 6.2.1 磁感线                                                                          | 172 |
| 6.2.2 磁通量                                                                          | 173 |
| 6.2.3 磁场中的高斯定理                                                                     | 173 |
| § 6.3 毕奥-萨伐尔定律及其应用                                                                 | 174 |
| 6.3.1 稳恒电流的磁场                                                                      | 174 |
| 6.3.2 运动电荷的磁场                                                                      | 175 |
| 6.3.3 载流线圈的磁矩                                                                      | 176 |
| 6.3.4 毕奥-萨伐尔定律的应用                                                                  | 176 |
| § 6.4 磁场的安培环路定理                                                                    | 181 |
| 6.4.1 安培环路定理                                                                       | 181 |
| 6.4.2 安培环路定理的应用                                                                    | 183 |
| § 6.5 磁场对运动电荷和载流导线的作用                                                              | 186 |
| 6.5.1 洛伦兹力                                                                         | 187 |
| 6.5.2 带电粒子在磁场中的运动                                                                  | 187 |
| 6.5.3 霍尔效应                                                                         | 189 |
| 6.5.4 洛伦兹力在科学与工程中的应用实例                                                             | 190 |
| 6.5.5 安培力                                                                          | 195 |

|                              |     |                            |     |
|------------------------------|-----|----------------------------|-----|
| § 6.6 磁力的功 .....             | 199 | § 7.4 自感应 互感应 .....        | 229 |
| 6.6.1 磁力对载流导线做功 .....        | 199 | 7.4.1 自感 .....             | 229 |
| 6.6.2 磁力矩对转动载流线圈做功 .....     | 199 | 7.4.2 互感 .....             | 231 |
|                              |     | 7.4.3 $RL$ 串联电路的暂态过程 ..... | 233 |
| § 6.7 磁介质 .....              | 200 | § 7.5 磁场的能量 .....          | 234 |
| 6.7.1 磁介质的分类 .....           | 200 | 7.5.1 自感磁能 .....           | 234 |
| 6.7.2 顺磁质与抗磁质的磁化 .....       | 201 | 7.5.2 互感磁能 .....           | 235 |
| 6.7.3 磁场强度、磁介质中的安培环路定理 ..... | 202 | 7.5.3 磁场能量 .....           | 236 |
| 6.7.4 铁磁质 .....              | 206 | § 7.6 位移电流和全电流定律 .....     | 237 |
| 本章提要 .....                   | 208 | 7.6.1 位移电流 .....           | 237 |
| 阅读材料(六) 磁单极 .....            | 209 | 7.6.2 全电流定律 .....          | 238 |
| 真空的“极化” .....                | 210 | § 7.7 麦克斯韦方程组 .....        | 240 |
| 思考题 .....                    | 211 | 本章提要 .....                 | 242 |
| 习题 .....                     | 212 | 阅读材料(七) 统一场论 .....         | 243 |
|                              |     | 正负电子对的产生和湮灭 .....          | 245 |
|                              |     | 思考题 .....                  | 246 |
|                              |     | 习题 .....                   | 248 |
| <b>第 7 章 电磁感应 电磁场 217</b>    |     |                            |     |
| § 7.1 电磁感应的基本定律 .....        | 218 | <b>附录 I 251</b>            |     |
| 7.1.1 电磁感应现象 .....           | 218 | 国际单位制(SI) .....            | 251 |
| 7.1.2 法拉第电磁感应定律 .....        | 219 | <b>附录 II 253</b>           |     |
| 7.1.3 楞次定律 .....             | 219 | 常用基本物理常量表 .....            | 253 |
|                              |     | <b>附录 III 254</b>          |     |
|                              |     | 物理量的名称、符号和单位(SI)一览表 .....  | 254 |
|                              |     | <b>附录 IV 257</b>           |     |
|                              |     | 空气、水、地球、太阳系一些常用数据 ...      | 257 |
|                              |     | <b>附录 V 258</b>            |     |
|                              |     | 历年诺贝尔物理学奖获得者 .....         | 258 |
| § 7.2 动生电动势 .....            | 221 | <b>习题答案 266</b>            |     |
| 7.2.1 电源 电动势 .....           | 221 |                            |     |
| 7.2.2 动生电动势 .....            | 223 |                            |     |
| § 7.3 感生电动势和感生电场 .....       | 225 |                            |     |
| 7.3.1 感生电动势 涡旋电场 .....       | 225 |                            |     |
| 7.3.2 电子感应加速器 .....          | 228 |                            |     |
| 7.3.3 涡电流 .....              | 228 |                            |     |



# 绪论

## 1. 物理学的起源和发展

追溯物理学的起源就像寻找大江长河的源头一样十分困难。细小的溪流渐渐汇成小河，小河又汇成真正的“河流”，其间不断有支流加入，河床越变越宽，最后变成汹涌澎湃的洪流注入大洋之中。

使物理学大河诞生的小溪遍布于人类居住的地球表面，但其中多数似乎集中在巴尔干半岛南端，那里居住的人们我们今天称之为“古希腊人”。如果从古希腊的自然哲学算起，物理学的发展已有 2600 多年的历史，物理学一词正是从希腊文“自然( $\phi\upsilon\sigma\iota\varsigma$ )”一词推演而来，是古希腊哲学家亚里士多德对物理学的重要贡献。在古代欧洲，物理学一词是自然科学的总称，随着科学的发展，它的各部分才逐渐形成独立的学科，如天文学、生物学、地质学等。

物理学真正成为一门精密学科，是从 1687 年牛顿发表《自然哲学之数学原理》开始的。牛顿在许多科学家，特别是在伽利略、笛卡儿、惠更斯等人工作的基础上，提出了著名的牛顿运动三定律，奠定了经典力学的基础。

牛顿通过对重力的研究，得出了地心引力与物体到地心距离平方成反比的结论，并由此得出万有引力定律。他把这个定律应用到行星绕日的运动，从数学上导出了 17 世纪初由开普勒发现，但半个世纪以来未能得到解释的开普勒行星运动三定律。18 世纪和 19 世纪的伟大数学家们发展了牛顿的工作，导致天文学中一个重要分支——天体力学的诞生，它使人们能以很高精确度算出太阳系中行星在万有引力作用下的运动。天体力学的最大成就之一，是分别于 1846 年和 1930 年根据理论预言发现了海王星和冥王星。

牛顿对光学研究也做出了很大贡献，基本上证明了白光实际上是从红到紫的不同颜色的光线的混合。他还发现了不同颜色的光具有不同的折射本领，从而解释了“虹”这一自然现象。但是，在光的本性问题上，牛顿遇到了一位对手的挑战，他就是惠更斯。牛顿坚持光的微粒说，而惠更斯主张光的波动说。两种学说都能解释光的直线传播、反射、折射等现象，但光的波动说认为光在光密媒质中的传播速度小于光在光疏媒质中的传播速度，而光的粒子学说却得到相反的结论，因为光线从光疏媒质进入光密媒质发生折射时要向法线方向偏转，这需要假设光线通过界面时，受到一个垂直于界面的力因而产生加速度。由于当时无法对光速进行测量，基于牛顿的巨大权威，同时也由于惠更斯未能用严密的数学方法来发展他的学说，在长达一个世纪之久的时间里，牛顿的微粒说一直占了上风。直到 1800 年，英国物理学家托马斯·杨发现了光的干涉现象，这是微粒学说无法解释的，这样光的波动学说才最终取得了胜利。

热力学发展的历史记载着物理学家为解决能源问题而不懈努力的壮丽史诗。人类始终面临着能源问题的困扰，因而曾一度梦想能一劳永逸地解决能源问题。在很长一段时间内，人们试图制造一种机器(后被称为第一类永动机)，这种机器能不断地对外做功而不需外界补充任何能量。

19 世纪中叶,德国人迈尔、德国人赫尔姆霍兹、英国人焦耳各自独立地提出了能量守恒定律,包括热现象在内的能量守恒定律称为热力学第一定律。虽然热力学第一定律否定了制造第一类永动机的可能,但人类寻求解决能源问题的努力并未就此止步。人们又设想能否制造一种机械(后被称为第二类永动机),能将来自单一热源的热量百分之百地转化为机械能,如果可行的话,我们就可利用海水蕴藏的巨大热能做功,但制造第二类永动机的努力始终没有成功,原因何在?德国人克劳修斯发现的热力学第二定律对此作出了回答。由此结束了人们制造第二类永动机的幻想。永动机虽然不可能制造,想办法提高热机效率却是可能的,但提高热机效率的途径何在?其效率的提高是否有个限度?1824 年,由法国工程师卡诺提出的卡诺定理,从理论上解决了上述问题,从而为提高热机效率指明了方向。

电学在 18 世纪还处于混沌初开的阶段,其研究是从摩擦起电、天电、电火这样一些实验和观察开始的。1731 年,英国人格雷发现:由摩擦产生的电,在玻璃或丝绸这类物体上可被保留下来而不流动。而金属一类物体不能由摩擦而产生电,但它们却可以把电从一处传到另一处,他第一个分清了导体和绝缘体。1733 年,法国人杜菲经过实验首次区分了阳电和阴电,并提出了同电相斥、异电相吸的概念。美国的富兰克林从 1746 年起开始研究电的性质,他第一个认识到两种不同的电相接触时会产生电火花,并于 1753 年发明了避雷针,使电学首次获得了应用。法国人库仑发明了一种“扭秤”可用于测量很弱的力,并于 1785 年建立了库仑定律。电学从此走上了定量研究的科学道路。

人类对磁现象的认识最早来源于磁铁,磁铁具有吸铁的性质,自由状态时总是指向南北方向,因而磁铁可用来确认方向,指南针就是我国古代的四大发明之一。然而电和磁之间的联系人们一直未能确定,电荷对磁铁丝毫没有影响,磁铁对静止电荷也没有丝毫影响。发现电和磁之间的联系,要归功于丹麦物理学家奥斯特。1820 年,他首次发现通电导线能使小磁针发生偏转,并将原来互相独立的电学和磁学统称为“电磁学”。奥斯的发现传到巴黎,引起了安培的注意。他很快就发现:不仅电流对磁针有作用,且两个电流之间彼此也有作用;一个载流线圈就相当于一块磁铁。安培还首次明确表述了电流是电荷沿导线运动的思想。

在奥斯特发现电能产生磁后,英国以法拉第为代表,致力于寻找奥斯特电磁效应的逆效应——由磁来产生电。法拉第在 1824 年,就萌发了一个信念,电与磁既然如此密切相关,电流可以产生磁,则磁也应当可以逆变为电。但后者显然比前者复杂,因为电流的周围存在磁场,但磁铁的周围并没有电流。因此,法拉第初期的实验并不顺利,直到 1831 年,法拉第才发现只有变化的磁场才能产生电的“电磁感应定律”。关于电与磁的相互转化,从奥斯特开始到法拉第为止基本告一段落。这些重大发现导致技术上产生了电磁铁,产生了电动机,最终西门子于 1867 年制成了发电机,打开了人类进入电气化时代的大门。

就在法拉第发现电磁感应定律那一年,麦克斯韦出生于苏格兰的爱丁堡。后来他成了一位优秀的数学家和物理学家。麦克斯韦由法拉第电磁感应定律联想到,既然变化的磁场可以激发电场,那么反过来,变化的电场就一定能激发磁场,并于 1862 年提出了“位移电流”假说。1864 年,麦克斯韦高度概括了电磁场的规律,总结出被后人称为麦克斯韦方程组的一组方程,于 1865 年预言了电磁波并断定光也是一种电磁波。1888 年德国物理学家赫兹从实验证实了电磁波的存在,从而导致了无线电通信技术的发展,将人类带进了电信时代。

从 17 世纪末到 19 世纪末,人类经过近 200 年的努力,对物理学的研究取得了巨大的成功,建立了一套完整的经典物理理论体系,几乎能解释自然界的一切物理现象及所有实验事实。大部分物理学家乐观地认为:经典物理学的宏伟大厦已基本建成。

然而,19世纪末、20世纪初涌现出来的许多新的实验事实,是经典物理学无法解释的,这些实验事实从根本上动摇了经典物理学大厦的基础。例如:19世纪末,人们发现固体热容量只在高温时与经典热力学理论相符,温度越低与经典理论的偏离就越远;氢光谱谱线的规律也无法用经典理论来解释;此外,20世纪初发现的光电效应、康普顿效应以及为实验所证实的原子有核模型,都是经典理论无法解释的。

在所有与经典理论相矛盾的实验中,最突出的有两个,一是试图测定“以太”存在的迈克耳孙-莫雷实验,二是关于黑体辐射的所谓“紫外灾变”。

按照光的波动说及麦克斯韦的电磁场理论,光波、电磁波是在一个绝对静止的“以太海”里波动着、传播着,以太充满了整个宇宙空间,又绝对静止。迈克耳孙-莫雷试图用光的干涉的方法证实以太的存在,从而确定一个绝对静止的参考系。尽管根据经典理论,该方法从实验原理到实验装置无懈可击,然后实验结果却与他们的预想完全相反,于是只有一种可能:该实验的前提是错误的,即根本就不存在“以太”这样一种物质。

19世纪末,实验物理学家已测得黑体在一定温度下发出的辐射强度曲线,即辐射强度与波长的关系。为了解释这一辐射曲线,许多物理学家付出了巨大的努力。维恩从热力学普遍理论及实验数据分析,得出的辐射强度公式只在高频范围与实验相符;瑞利和金斯根据经典电动力学得出的公式,与维恩公式正好相反,只在低频范围与实验结果相符,在频率较高时与实验产生明显的歧离。并且得出辐射频率越高,强度越大,随着辐射频率向高频方向移动,强度将无止境增大的结论。当时,有人将这一矛盾称为“紫外灾变”。一来表示由该公式将得出荒谬的结论,高频(紫外)辐射突然夺走辐射体的全部能量,使之冷却到绝对零度;二来借喻经典理论在新实验事实面前遇到的困境。

由于当时大多数物理学家对出现这些理论与实验的矛盾缺乏思想准备,因而对经典理论,既抱固守根基的信念,又有恐其破灭的疑惧。许多物理学家惊叹:我们必须等待第二个牛顿出现,建立一种新的以太理论。1900年,汤姆孙在《遮盖在热和光的动力理论上的19世纪乌云》的演说中,留下了这样的名言:“19世纪末的物理学上空,犹有两朵乌云,一是迈克耳孙的否定‘以太’实验,一是黑体辐射,这两朵乌云定会在未来卷起漫天风暴。”

1905年,爱因斯坦彻底挣脱经典物理学的束缚,抛开绝对时间和绝对空间的概念,把革命的时空观引入物理学,成功地解释了迈克耳孙-莫雷实验,爱因斯坦对时空观的革命最终导致了相对论的建立。

1900年,普朗克对黑体辐射的维恩公式和瑞利-金斯公式进行了修改,其中做出了一个大胆而有决定意义的假设:即谐振子的能量不能连续取值,只能取一些分立值。所得公式与实验曲线符合得很好。普朗克对经典物理学中能量连续的观念进行了革命,提出了能量“量子化”的概念,圆满地解决了黑体辐射中“紫外灾变”的难题。爱因斯坦、康普顿、玻尔、德布罗意等物理学家将“量子化”的概念加以推广和应用,解释了许多经典物理学无法解释的实验现象。最终薛定谔和海森堡完成了数学表述,这样,一门新的学科——量子力学诞生了。

伴随着相对论和量子力学的创立,19世纪末漂浮在物理学晴朗天空中的两朵乌云,在20世纪初终被驱散,近代物理的两大支柱得以形成。更为神奇的是,相对论和量子力学并没有否定经典物理学,只是在更深层次上描述了物质世界的客观规律。至此,人类历经200多年的努力,通过许多物理学家开创性的工作,凝聚了无数无名英雄默默无闻的奉献,物理学终于发展成为一门十分完美的学科,并以此为起点,向着更高、更深的层次延伸,向着更广泛的应用领域拓展。



## 2. 物理学概述

物理学是关于自然界最基本形态的科学,它研究物质的结构和相互作用以及它们的运动规律,其研究领域十分广泛,尺度从比质子( $10^{-15}\text{m}$ )更小的粒子(夸克),直到目前可探测到的最远距离( $10^{26}\text{m}$ )的类星体;时间从短到 $10^{-25}\text{s}$ 的最不稳定的粒子寿命,直到长达 $10^{39}\text{s}$ 的质子寿命.其空间尺度跨越42个数量级,时间范围跨越65个数量级;涉及的温度从接近绝对零度的低温到热核反应的几亿度高温;速度从静止到运动速度的极限——光速.除研究物质的气、液、固三态外,还研究等离子体态、中子态等等.

从微观粒子到巨大的星体,从细菌到人,物质如何聚集起来?这是物理学要回答的另一问题.物理学的研究表明:物质世界千变万化的现象,归根结底只受四种基本相互作用的支配.这四种基本相互作用是:

① 引力相互作用;② 电磁相互作用;③ 强相互作用;④ 弱相互作用.

引力相互作用支配着宇宙天体的运动规律,电磁相互作用是原子得以存在的基础,强相互作用使原子核不会解体,弱相互作用引起粒子间的某些过程(如衰变等).

进一步研究这四种相互作用的机理和统一,是物理学的另一努力方向.

## 3. 物理学和其他自然科学及技术科学的关系

物理学是其他自然科学的基础.运动形式由低级到高级可分为机械运动—物理运动—化学运动—生命运动—社会运动五个层次,高级运动包含着低级运动.例如化学反应既包含分子、原子的机械运动,又包含发热、发光等物理运动;生命运动既包含血液流动,心脏跳动等机械运动,也包含热能转换等物理运动,还包含食物消化、营养吸收等化学运动;社会运动更为复杂,已不属于自然科学的研究范围,但它必然包含其余四种较为低级的运动.由此可见,自然界的一切运动都包含机械运动、物理运动等运动形式,这正是物理学的研究范围.另一方面,物理学所研究的粒子和原子构成了蛋白质、基因、器官、生物体,乃至一切人造的和天然的物质,构成了陆地、海洋和大气等,因此可以说物理学构成了其他自然科学的基础.物理学的基本概念和技术已被应用到了所有自然科学领域,甚至于某些社会科学领域.

1765年,经瓦特的重大改进,出现了现代水平的蒸汽机,并导致了第一次工业革命.此后的200多年,科学技术获得了突飞猛进的发展,我们的生活也因此经历了翻天覆地的变化,其成果之巨已无法用“丰厚”、“辉煌”等词汇来形容.机器延伸了人类的体力,电脑延伸了人类的脑力,很多过去人力所不能及的事情现在变得轻而易举.航天技术使人类挣脱了地球的巨大引力进入太空,人类的足迹已踏上月球,正在向火星进发;信息科技的发展使几十亿人居住的地球变成了一个“村”……科学技术的每一次重大突破,大多植根于物理学这片沃土.三次工业革命的浪潮,使我们经历了机械化—电气化—信息化的重大变革,彻底改变了人类的生活方式,这三次工业革命均无一例外地起源于物理学的重大突破.可以毫不夸张地说,物理学是许多科学和技术的基础和发源地,没有物理学的发展,就不可能有今天的科学和技术.

## 4. 物理学和素质教育

现代科学技术的飞速发展导致知识急剧膨胀,更新速度空前加快,院校教育时间的有限性和知识增长的无限性的矛盾,决定了任何人不可能一劳永逸地仅凭学校几年所学受用终生,而是需要不断充实、更新.另外,社会对人才的需求已越来越由“专才”向“通才”转变,所谓通才,并非样样都通,在知识大爆炸的时代,任何人也没有这个本事,而是要求人们应具有不断获取新知识的能力.素质教育就是要培养学生这种能力.

大学物理不仅仅是一门重要的基础理论课程,而且在素质教育中有着特殊的地位和作用。

物理学家在创立和发展物理学的过程中,不仅发现和创立了物理学概念、规律和理论,它们构成其他自然科学的基础,而且总结和发展了许多极其精彩的具体研究方法,如观察和实验、假说、类比、归纳和演绎、分析和综合、证明和反驳等。一方面,这些研究方法不仅为物理学家所使用,而且实际上构成了科学研究方法的主体,对其他学科的研究起着指导作用。另一方面,物理学的研究方法也有其独有的特点,如严密的逻辑推理,理论与实验的紧密结合等等。可见,物理学研究方法既具普遍性,又有典型性,通过物理课程的学习,掌握这些研究方法,十分有利于学生科学素质的提高。

在物理学发展的历史长河中,一代又一代的物理学精英们,站在巨人的肩膀上,向着物理学的一个个高峰奋勇攀登。具有真知灼见、勇于破旧立新的勇敢战士,不畏艰难、孜孜以求的学者、大师不断涌现,他们的辉煌业绩,他们的开拓精神,永远值得我们铭记和学习,是素质教育不可多得的题材。

### 5. 怎样学好物理学

怎样学好物理学?每个人都应有自己的经验和体会,很难有一个共同的答案,因为每个人都有一套适合自己的学习方法。笔者仅根据个人体会提出几点建议:

#### (1) 正确认识物理学的作用

学习大学物理课程的同学,绝大部分都不是物理专业的学生,在学习过程中,特别是碰到困难的时候,难免会提出这样一个很难准确回答的问题:物理学和我的专业究竟有何关系?

如前所述,物理学是其他自然科学的基础,物理学的研究方法对其他学科起着指导作用。但并不等同于物理学就是其他自然科学,物理学的研究方法可以照搬至其他学科的研究之中。物理学的研究成果转变为技术上的实际应用,有一个酝酿期,短则几年,长则上百年,中间仍需经过许多艰苦的努力。物理学也并非无所不包,物理学的丰富内涵更是一门大学物理课程无法涵盖的。那种认为学完物理课马上就能收到立竿见影的效果的急功近利的想法是不切实际的。当然,认为物理课可有可无的另外一个极端也是错误的。不管物理课与你今后从事的专业有无直接关系,物理学的基础理论、思维方式及研究方法都将使你受益终生。

#### (2) 重视课堂学习

作为一名大学生,经过十余年的读书学习,已经有了一定的自学能力,加之考试的难度比中学要小,因此部分同学忽略了课堂学习,这是完全错误的。学习物理学,最重要的无疑是要学习其物理思想、思维方式及研究方法,这些内容必然融汇于教师的课堂讲授之中,因此平时认真听课是非常重要的。如果只满足于考前背几个死公式,做几道习题,考后忘得一干二净,即便考试及格,甚至得到了高分,也达不到学习物理学的真正目的。

#### (3) 认真做作业

作业很容易和应试教育相联系而成为“减负”的对象。当然,片面追求难题、怪题,陷学生于题海之中的做法确需改进,但课后完成数量适中、难度适当的习题,不仅有助于巩固课堂学习内容,而且有利于素质教育。因为每道习题都是要学生思考或解决一个或几个问题,思考的问题多了,学生的逻辑思维能力、解决问题的能力自然得到了提高。

在科学的道路上没有平坦的大道可走,只有那在崎岖小路的攀登上不畏劳苦的人,才有希望到达光辉的顶点。让我们牢记革命导师的教诲,开始踏上学习大学物理的征程吧!



# 第一篇

# 力 学

物理学是其他自然科学的基础,而力学则是物理学的基础.

力学是研究机械运动规律的科学,所谓机械运动指的是物体之间或物体各部分之间的相对位置随时间变化,它是自然界中最普遍、最基本的运动形式,所有其他的物体运动形式几乎都包含机械运动.

力学的创立和发展经历了漫长的时期.早在公元前三百多年,古希腊哲学家和科学家亚里士多德(Aristotle)发展了最早的运动理论,他认为物体下落的快慢由它们的重量决定,必须有力的作用才能维持物体的运动等,由于他的这些论断符合人们的日常观察,因而统治了学术界长达两千年之久;16世纪末,伽利略(G. Galileo)通过大量的实验,得出了重物与轻物下落得同样快的结论;牛顿(I. Newton)在总结了伽利略、笛卡儿(R. Descartes)等人研究成果的基础上,于1687年提出了著名的牛顿运动三定律及万有引力定律,并从数学上导出了由开普勒(J. Kepler)发现,但半个世纪以来未能得到解释的开普勒行星运动三定律、海王星和冥王星的发现,正是万有引力定律的杰作.以牛顿运动定律为基础发展而来的力学理论称为牛顿力学,又称经典力学,牛顿力学研究宏观低速物体的运动规律.

随着科学技术的发展,新的实验事实不断出现,牛顿力学的局限性也随之突显,它不适用于高速运动物体及微观粒子的运动规律.于是人们在牛顿力学的基础上创立了相对论和量子力学,但相对论和量子力学并未否定牛顿力学,相反,它们都包含了牛顿力学.

本篇主要内容包括质点运动学和动力学,刚体定轴转动运动学和动力学等.

