

# 大学物理学

黄时中 袁广宇 朱永忠 吴 韬 倪致祥 编著

下 册

DAXUE WULIXUE

中国科学技术大学出版社

# 大学物理学

## (下)

黄时中 袁广宇 朱永忠

吴 韬 倪致祥

中国科学技术大学出版社

2006·合肥

## 内 容 简 介

本书是参照教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会于 2004 年提出的非物理类专业大学物理课程教学基本要求, 结合目前的课程设置和学时设置等方面的实际情况而编写的。全书力图在切实加强基础理论的同时, 突出培养学生独立获取知识的能力、科学思维能力和解决问题的能力。

全书分上、下两册。上册包括力学和热学两部分。下册包括电磁学、波动光学和量子物理学部分。电磁学的具体内容包括: 静电场和稳恒磁场的基本规律、电场与磁场相互联系的规律。波动光学的具体内容包括: 光的干涉、衍射和偏振的基本理论及其应用。量子物理学的具体内容包括: 量子理论的实验基础和量子力学入门知识。

本书可以作为高等学校非物理类专业大学物理学课程的教材。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理学(下册)/黄时中等编著. —合肥: 中国科学技术大学出版社, 2006.2  
ISBN 7-312-01881-5

I. 大… II. 黄… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 002939 号

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路 96 号, 邮政编码: 230026)

合肥华星印务有限责任公司印刷

全国新华书店经销

开本: 787 mm×960 mm 1/16 印张: 21.125 字数: 390 千字

2006 年 2 月第 1 版

2006 年 2 月第 1 次印刷

印数: 1—4 000 册

ISBN 7-312-01881-5/O · 322 定价: 25.20 元

# 《大学物理学》编委会

主编 黄时中

编委 王其申 倪致祥

黄时中 戴建明

# 前 言

物理学是一门基础自然科学，它所研究的是物质的基本结构、最普遍的相互作用、最一般的运动规律以及所使用的实验手段和思维方法。物理学渗透在自然科学的各个领域，应用于生产技术的许多部门，是自然科学和工程技术的基础。

大学物理课程是高等学校理工科各专业学生一门重要的必修基础课，通过本课程的学习，可以为学生提供一个科学工作者和工程技术人员所必备的物理基础知识和常用科学研究方法；可以激发学生的探索、创新精神和应用意识；可以培养学生实事求是的科学态度和辩证唯物主义世界观。

为了使學生通过本课程的学习，能够对物理学的基本概念、基本理论、基本方法有比较全面、系统的认识和正确的理解，教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会于2004年10月9日至10月12日，在中国科学技术大学召开了“全国高等学校非物理类专业物理课程基本要求研讨会”。会上提出了大学物理课程教学基本要求，主要内容有：培养学生独立获取知识的能力、科学思维能力和解决问题的能力；培养学生追求真理的理想、献身科学的精神和辩证唯物主义世界观，激发学生求知热情、探索精神和创新欲望。

按照上述要求，我们在对现行教材进行认真分析的基础上，结合目前的课程设置和学时设置等方面的实际情况，编写了本教材。本教材的主要特点有：

1. 把科学思维和科学方法融入到教材的具体内容中，在传授物理学基本内容的同时，侧重介绍了以实验为基础的归纳法，以猜想为前提的演绎法和以比较为桥梁的类比法。
2. 把现代计算工具引入到教学的具体内容中。在采用现代教学改革教学形式的同时，将现代计算机软件 Mathematica 引入到大学物理课程的教学，利用其既能进行数值计算，又能进行符号运算，还可以进行计算机绘图等多种功能，简化了许多繁琐的计算过程和数学推导过程，展示了许多复杂的图像。这样既可以提高了学生的应用能力，也能激发学生的学习兴趣。
3. 鼓励学生自学，指导学生查找文献。不但在教材中增加了物理名词的

外文注释和有关物理规律的英文原文, 以提高学生查阅外文资料能力和科技外语交流能力, 而且还附有物理文献及查阅方法等材料。

4. 围绕教学的基本要求, 精选了一些既能培养学生分析和解决问题能力、巩固所学知识, 又较贴近实际应用、可激发学生兴趣的习题。习题的形式多样, 还增加了小课题研究、课程论文和探索性实验等练习内容。

本书的编写得到了安徽省物理学会的支持, 安徽省物理学会理事长阮图南教授对本书的编写给予了极大的关怀和鼓励, 并就编写中应突出的主要特点给予了富有启发性的指导, 作者对此深表感谢。在本书的编写过程中, 还得到了中国科学技术大学等高校的有关专家和许多同行老师的热情鼓励、帮助和支持, 在此一并表示感谢。此外, 本书的出版还得到了安徽师范大学教材建设基金的资助, 作者对此深表感谢。

按照大学物理课程教学基本要求, 本书的编写过程本身也是一个探索的过程, 由于作者学识水平有限, 书中错误和不妥之处在所难免, 敬请广大教师和读者不吝赐教, 以便在再版时加以修正。

编 者

2005年6月

# 目 录

## 第四篇 电磁学

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 第 9 章 静电场 .....                                | 5  |
| §9.1 电荷和库仑定律 .....                             | 5  |
| 9.1.1 电荷及其基本性质 .....                           | 5  |
| 9.1.2 库仑定律和库仑力的叠加原理 .....                      | 6  |
| §9.2 电场强度 .....                                | 9  |
| 9.2.1 电场强度 .....                               | 9  |
| 9.2.2 电场强度的计算式 .....                           | 10 |
| §9.3 电场线 .....                                 | 15 |
| 9.3.1 电场线 .....                                | 15 |
| 9.3.2 “静电场”电场线的性质 .....                        | 17 |
| §9.4 静电场的高斯定理 .....                            | 17 |
| 9.4.1 电通量 .....                                | 17 |
| 9.4.2 静电场的高斯定理 .....                           | 19 |
| 9.4.3 高斯定理的应用举例 .....                          | 21 |
| §9.5 静电场的环路定理 .....                            | 25 |
| 9.5.1 静电场的环路定理 .....                           | 25 |
| 9.5.2 电势差和电势 .....                             | 26 |
| 9.5.3 电势的计算举例 .....                            | 28 |
| 9.5.4 等势面 .....                                | 30 |
| 9.5.5 电场强度与电势梯度的关系 .....                       | 31 |
| 习题 .....                                       | 32 |
| 第 10 章 静电场中的导体和电介质 .....                       | 38 |
| §10.1 静电场中的导体 .....                            | 38 |
| 10.1.1 导体的静电平衡 .....                           | 38 |
| 10.1.2 静电平衡时导体上的电荷分布 .....                     | 39 |
| 10.1.3 导体表面附近的电场强度 $E$ 与面上对应点的电荷面密度 $\sigma$ 的 |    |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 关系 .....                            | 40 |
| 10.1.4 静电屏蔽 .....                   | 41 |
| §10.2 电介质的极化和有介质时的高斯定理 .....        | 44 |
| 10.2.1 电介质的电结构 .....                | 44 |
| 10.2.2 电介质的极化 .....                 | 44 |
| 10.2.3 电极化强度、极化电荷与极化强度的关系 .....     | 45 |
| 10.2.4 电极化强度 $P$ 与场强 $E$ 的关系 .....  | 46 |
| 10.2.5 有介质时的高斯定理 .....              | 47 |
| §10.3 电容和电容器 .....                  | 49 |
| 10.3.1 孤立导体的电容 .....                | 49 |
| 10.3.2 电容器及其电容 .....                | 49 |
| 10.3.3 电容器的串联和并联 .....              | 51 |
| §10.4 电场的能量 .....                   | 53 |
| 10.4.1 电容器储存的静电能 .....              | 53 |
| 10.4.2 电场的能量 .....                  | 54 |
| 习题 .....                            | 55 |
| 第 11 章 稳恒电流 .....                   | 61 |
| §11.1 电流及其连续性方程 .....               | 61 |
| 11.1.1 电流 .....                     | 61 |
| 11.1.2 电流的连续性方程 .....               | 63 |
| 11.1.3 稳恒电流 .....                   | 63 |
| §11.2 欧姆定律和焦耳定律 .....               | 64 |
| 11.2.1 欧姆定律 .....                   | 64 |
| 11.2.2 电阻定律 .....                   | 65 |
| 11.2.3 欧姆定律的微分形式 .....              | 66 |
| 11.2.4 电流的功和功率、焦耳楞次定律 .....         | 66 |
| §11.3 电源和电动势、闭合电路和一段含源电路的欧姆定律 ..... | 68 |
| 11.3.1 电源及其电动势 (e.m.f.) .....       | 68 |
| 11.3.2 闭合电路的欧姆定律 .....              | 70 |
| 11.3.3 含源电路的欧姆定律 .....              | 71 |
| 11.3.4 基尔霍夫方程组 .....                | 72 |
| 习题 .....                            | 73 |
| 第 12 章 恒定磁场 .....                   | 77 |
| §12.1 磁场 .....                      | 77 |

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| 12.1.1 奥斯特实验 .....                    | 77         |
| 12.1.2 磁感应强度 .....                    | 78         |
| §12.2 毕奥-萨伐尔定律 .....                  | 80         |
| 12.2.1 毕奥-萨伐尔定律 .....                 | 80         |
| 12.2.2 运动点电荷的磁场 .....                 | 81         |
| 12.2.3 毕奥-萨伐尔定律的应用 .....              | 82         |
| §12.3 磁通连续性定理 .....                   | 86         |
| §12.4 安培环路定理 .....                    | 87         |
| 12.4.1 安培环路定理 .....                   | 87         |
| 12.4.2 安培环路定理的应用 .....                | 89         |
| §12.5 磁场对载流导体的作用 磁力的功 .....           | 92         |
| 12.5.1 安培定律 .....                     | 92         |
| 12.5.2 磁场对载流导线的作用力 .....              | 93         |
| 12.5.3 载流线圈在均匀外磁场中受到的磁力矩 .....        | 94         |
| 12.5.4 磁力的功 .....                     | 95         |
| 12.5.5 平行电流间的互相作用, 电流的单位“安培”的定义 ..... | 96         |
| §12.6 带电粒子在电磁场中的运动 .....              | 97         |
| 12.6.1 运动方程(动力学方程) .....              | 97         |
| 12.6.2 带电粒子在电磁场中的运动 .....             | 98         |
| 12.6.3 霍尔效应 .....                     | 101        |
| 习题 .....                              | 102        |
| <b>第13章 磁介质</b> .....                 | <b>109</b> |
| §13.1 磁介质存在时静磁场的基本规律 .....            | 109        |
| 13.1.1 磁介质的磁化 磁化强度 .....              | 109        |
| 13.1.2 磁化电流 .....                     | 111        |
| 13.1.3 有磁介质时的安培环路定理 .....             | 112        |
| 13.1.4 稳恒磁场与静电场方程的对比 .....            | 114        |
| §13.2 顺磁性 与 抗磁性 .....                 | 115        |
| 13.2.1 顺磁性 .....                      | 115        |
| 13.2.2 抗磁性 .....                      | 115        |
| §13.3 铁磁性 与 铁磁质 .....                 | 117        |
| 13.3.1 铁磁质的磁化性能 .....                 | 117        |
| 13.3.2 铁磁性的起因 .....                   | 119        |
| 习题 .....                              | 120        |



|                           |            |
|---------------------------|------------|
| §16.1 光源和光的相干性 .....      | 171        |
| 16.1.1 光源 .....           | 171        |
| 16.1.2 单色光与复色光 .....      | 171        |
| 16.1.3 光的相干性 .....        | 172        |
| §16.2 获得相干光的方法 .....      | 175        |
| 16.2.1 获得相干光的方法 .....     | 175        |
| 16.2.2 杨氏双缝干涉实验 .....     | 177        |
| 16.2.3 洛埃镜实验 .....        | 180        |
| §16.3 薄膜表面的干涉 .....       | 181        |
| §16.4 劈尖干涉和牛顿环 .....      | 184        |
| 16.4.1 劈尖干涉 .....         | 184        |
| 16.4.2 牛顿环 .....          | 186        |
| §16.5 迈克耳孙干涉仪 .....       | 188        |
| 16.5.1 迈克耳孙干涉仪 .....      | 188        |
| 16.5.2 干涉现象的应用 .....      | 189        |
| 16.5.3 相干长度 .....         | 190        |
| 习题 .....                  | 192        |
| <b>第 17 章 光的衍射</b> .....  | <b>196</b> |
| §17.1 惠更斯-菲涅耳原理 .....     | 196        |
| 17.1.1 光的衍射现象 .....       | 196        |
| 17.1.2 惠更斯-菲涅耳原理 .....    | 197        |
| 17.1.3 菲涅耳衍射和夫琅禾费衍射 ..... | 197        |
| §17.2 单缝和圆孔的夫琅禾费衍射 .....  | 198        |
| 17.2.1 单缝衍射 .....         | 198        |
| 17.2.2 圆孔衍射 .....         | 203        |
| 附录 单缝夫琅禾费衍射合振幅的计算 .....   | 204        |
| §17.3 平面衍射光栅 .....        | 206        |
| 17.3.1 光栅方程 .....         | 206        |
| 17.3.2 光栅光谱 .....         | 208        |
| §17.4 光学仪器的分辨率 .....      | 209        |
| §17.5 X 射线在晶体上的衍射 .....   | 212        |
| §17.6 全息照相 .....          | 214        |
| 17.6.1 全息照相 .....         | 214        |
| 17.6.2 基本原理 .....         | 215        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 17.6.3 全息照片的摄制与再现装置 .....   | 216 |
| 17.6.4 全息照相的特点 .....        | 217 |
| 习题 .....                    | 218 |
| <b>第 18 章 光的偏振</b> .....    | 221 |
| §18.1 自然光和偏振光 .....         | 221 |
| 18.1.1 光的偏振性 .....          | 221 |
| 18.1.2 自然光 .....            | 222 |
| §18.2 偏振片 马吕斯定律 .....       | 224 |
| 18.2.1 偏振片的起偏和检偏 .....      | 224 |
| 18.2.2 马吕斯定律 .....          | 225 |
| §18.3 反射时光的偏振 .....         | 226 |
| §18.4 光的双折射 .....           | 227 |
| 18.4.1 光的双折射现象 .....        | 227 |
| 18.4.2 尼科耳 (Nicol) 棱镜 ..... | 229 |
| 18.4.3 二向色性与偏振片 .....       | 230 |
| §18.5 偏振光的干涉 .....          | 231 |
| 18.5.1 偏振光的干涉 .....         | 231 |
| 18.5.2 椭圆偏振光和圆偏振光 .....     | 232 |
| 18.5.3 人为双折射现象 .....        | 233 |
| §18.6 旋光现象 .....            | 235 |
| 习题 .....                    | 236 |

## 第六篇 量子物理学

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第 19 章 量子理论的实验基础</b> ..... | 242 |
| §19.1 黑体辐射与能量子 .....          | 242 |
| 19.1.1 热辐射 .....              | 242 |
| 19.1.2 黑体辐射的实验定律 .....        | 243 |
| 19.1.3 黑体辐射的经典解释及其困难 .....    | 244 |
| 19.1.4 普朗克公式与能量子假设 .....      | 245 |
| §19.2 光电效应与光子 .....           | 247 |
| 19.2.1 光电效应 .....             | 247 |
| 19.2.2 光子量子假设 .....           | 248 |
| 19.2.3 光的波粒二象性 .....          | 250 |
| 19.2.4 康普顿效应 .....            | 250 |
| §19.3 原子结构 .....              | 253 |

|        |              |     |
|--------|--------------|-----|
| 19.3.1 | 氢原子光谱的规律性    | 253 |
| 19.3.2 | 卢瑟福的原子有核模型   | 254 |
| 19.3.3 | 玻尔理论         | 255 |
| 19.3.4 | 弗兰克-赫兹实验     | 258 |
| 19.3.5 | 玻尔理论的评论      | 260 |
| §19.4  | 波粒二象性        | 260 |
| 19.4.1 | 德布罗意假设       | 260 |
| 19.4.2 | 德布罗意波的实验证明   | 261 |
| 19.4.3 | 物质波应用——电子显微镜 | 262 |
| 19.4.4 | 波函数及其统计解释    | 263 |
| §19.5  | 不确定关系及其应用    | 265 |
| 19.5.1 | 不确定关系        | 265 |
| 19.5.2 | 能量与时间的不确定关系  | 267 |
| 19.5.3 | 不确定关系的应用     | 267 |
|        | 习题           | 269 |
| 第 20 章 | 量子力学入门       | 272 |
| §20.1  | 薛定谔方程        | 272 |
| 20.1.1 | 薛定谔方程的建立     | 272 |
| 20.1.2 | 定态薛定谔方程      | 274 |
| 20.1.3 | 波函数的叠加原理     | 275 |
| 20.1.4 | 力学量的算符表示     | 276 |
| §20.2  | 一维量子问题       | 277 |
| 20.2.1 | 一维无限深方势阱     | 277 |
| 20.2.2 | 一维简谐振子       | 280 |
| 20.2.3 | 势垒和隧穿效应      | 282 |
| 20.2.4 | 扫描隧穿显微镜      | 284 |
| §20.3  | 氢原子的薛定谔方程    | 284 |
| 20.3.1 | 氢原子的定态薛定谔方程  | 284 |
| 20.3.2 | 氢原子的角动量      | 285 |
| 20.3.3 | 氢原子的能量       | 287 |
| 20.3.4 | 氢原子的径向概率密度   | 289 |
| §20.4  | 电子自旋         | 291 |
| 20.4.1 | 碱金属原子        | 291 |
| 20.4.2 | 原子磁矩         | 291 |

---

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 20.4.3 斯特恩-盖拉赫实验 .....     | 293 |
| 20.4.4 电子自旋 .....          | 294 |
| §20.5 元素周期律 .....          | 295 |
| 20.5.1 多电子原子的状态和能量 .....   | 295 |
| 20.5.2 泡利不相容原理 .....       | 297 |
| 20.5.3 原子的壳层结构与元素周期律 ..... | 298 |
| 习题 .....                   | 303 |
| 附录 A 中英文对照目录 .....         | 305 |
| 附录 B 物理文献及其查阅方法 .....      | 308 |
| 附录 C 参考答案 .....            | 314 |

# 第四篇

## 电 磁 学



电磁现象的发现、电磁定律的确定、电磁场理论的建立、电子的发现以及物质微观电结构的揭示、电磁技术的广泛应用等等，在物理学中开辟了一个区别于力学和热学的新领域——电磁学。电磁学是经典物理学的基本组成部分。

关于电磁现象定量的理论研究，始于库仑（电性）定律的问世。库仑定律的建立，标志着人们对电的认识真正地从经验走向科学、从定性观察阶段进入定量研究阶段。

在一段相当长的时间内，人们一直认为电现象和磁现象是两种截然不同的客体，不存在相互转化的可能。当时，科学权威库仑断言：“电与磁之间不存在相互转化的问题。”该论点曾得到物理学界不少人的支持，例如：安培（后来又反对库仑的观点）、托马斯·杨等。但丹麦物理学家奥斯特却坚决反对此论点。1819~1820年，奥斯特发现了“电流的磁效应”，说明了磁现象的本质是“动电现象”。“电流的磁效应”的发现，开创了电、磁联系的“电磁学”的新局面。从此，古老的电学、磁学获得了新生。

奥斯特的发现，给19世纪最伟大的实验物理学家法拉第以很大的启示，他想：既然“动电能够生磁”，那么“动磁就应该能生电”！经过十年的努力，终于在1831年取得了突破性的进展，发现了“电磁感应现象”，即利用磁场产生电流的现象。“电磁感应现象”的发现标志着电磁理论由静态研究发展到了动态研究的新阶段。

从应用的角度看，“电磁感应现象”的发现使电工技术取得了长足的发展，为人类生活的电气化和工业革命打下了基础。从理论上来看，“电磁感应现象”的发现更全面地揭示了“电与磁”的联系，为伟大的物理学家麦克斯韦建立完整的电磁场理论奠定了基础。

1861年前后，经过对法拉第“电磁感应现象”的深入分析和研究，麦克斯韦大胆地提出了“涡旋电场假说”：变化的磁场在其周围空间产生电场。他把这种电场称为“感应电场”。“涡旋电场假说”的问世，提升了法拉第的物理思想，揭示了变化的磁场和电场之间的联系。

既然“变化的磁场能够激发电场”，那么，“变化的电场能否激发磁场呢？”1862年，麦克斯韦为了在非稳恒电流情况下推广“安培环路定理”，针对客观电磁现象，又进一步大胆地提出了另一个假说，即“位移电流假说”：变化的电场也是一种电流，这种电流叫“位移电流”。“位移电流”和传导电流按相同的规律激发磁场。“位移电流假说”的问世，揭示了变化的电场和磁场之间的依存关系，反映了自然规律的对称性。

麦克斯韦对电磁理论的伟大贡献，一方面是他提出了“涡旋电场”和“位