

基础物理学教程

(下册)

主 编 白少民 李卫东
副主编 薛琳娜 苏芳珍 任新成



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

主要内容

基础物理学教程

(下册)

主 编 白少民 李卫东
副主编 薛琳娜 苏芳珍 任新成



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本教材上下册共五篇,分为十三章.上册两篇,包括第一篇力学部分的质点力学、力学中的守恒定律、刚体和流体;第二篇电磁学部分的静电场、稳恒磁场、电磁感应和电磁场.下册三篇,包括第三篇热物理学的热力学基础、气体动理论;第四篇振动与波部分的振动学基础、波动学基础、波动光学;第五篇近代物理学基础部分的相对论基础、量子力学基础.

本教程可作为理、工科非物理专业大学物理学课程的教材,也可供成人教育及其他专业基础物理课程选用.

图书在版编目(CIP)数据

基础物理学教程.下册/白少民,李卫东主编.一西安:西安交通大学出版社,2010.4
ISBN 978-7-5605-3481-7

I. ①基… II. ①白…②李… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 053382 号

书 名 基础物理学教程(下册)
主 编 白少民 李卫东
责任编辑 李慧娜

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西新世纪印刷厂

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 18.25 字数 332 千字
版次印次 2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-3481-7/O·322
定 价 31.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdjgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

前言

随着科学技术的飞速发展,对人才的培养也提出了更高、更新的要求.为了满足这一要求,基础物理的教学内容和课程体系就要不断改进.本教材就是为此目的,在教学实践和教改研究的基础上编写的.

本教材在内容上,注意“保证基础,加强近代,联系实际,涉及前沿”的选材原则.具体考虑如下几点:

1. 考虑到教材既要反映物理学的新进展,使教学内容现代化,又能适应课程授课学时不断减少的趋势,教材从形式上减少了力学和电磁学等部分的章节(这两部分各压缩为三章);在内容上尽量避免与中学物理的不必要重复.本书力求以简明、准确的语言阐述物理学中的基本概念、原理、定律、定理和定义等.

2. 教材内容采取以“渗透式”与“透彻式”相结合的方式介绍,不同内容采取不同的形式.除基本内容外,教材中安排了标“*”号的内容,可根据课时和专业及学生对象的情况在教学中进行取舍,不影响后继内容的学习.还有一些关于学科发展的前沿进展、新技术和应用等,教材以阅读材料形式编入供学生阅读,以使涉猎前沿、了解学科的发展及新技术的应用等.

3. 《基础物理学教程》与中学物理的不同主要在于数学处理方法的不同及适用范围的扩展.而数学处理方法是该课程一开始的难点.本教材把数学处理方法的过渡作为突破口(如微积分的应用、矢量运算等),使学生尽快适应该课程的处理方法,为学好该门课程扫除障碍.

4. 教材力求体现对学生高素质和综合能力的培养,注意物理思想及处理物理问题方法的介绍,克服教材就是知识堆砌的现象.在教材中适量加入物理学史的介绍和物理学家简介,以培养学生创造发明意识及对待科学的严谨态度和实事求是的作风.

5. 纵观物理学的内容,它可分为两大部分:一是牛顿力学、麦克斯韦电磁学及热力学为基础构成的经典物理学;另一是以相对论及量子物理为基础而构成的近代物理学.近代物理学是更为普遍的理论,它可以把经典物理作为一种近似包含在其中.但是对宏观领域内的绝大多数研究现象来说,经典物理不仅适用,所得结论的正确程度与近代物理处理并无差异,而且方法更为简捷方便,并还在不断地取得新的进展和应用.为此考虑,本教材将相对论和量子物理等作为近代物理部分仍

安排在最后介绍.

6. 在习题和思考题的选编上,以“题量不多、难点不大和兼顾应用”为前提,以加强学生基础知识的训练.

7. 全书采用 SI 单位制.

8. 本教材上下册共五篇,分为十三章.上册两篇,包括第一篇力学部分的质点力学、力学中的守恒定律、刚体和流体;第二篇电磁学部分的静电场、稳恒磁场、电磁感应和电磁场.下册三篇,包括第三篇热物理学的热力学基础、气体动理论;第四篇振动与波部分的振动学基础、波动学基础、波动光学;第五篇近代物理学基础部分的相对论基础、量子力学基础.

本教程可作为理、工科非物理专业大学物理学课程的教材,也可供成人教育及其他专业基础物理课程选用.

本教材第 1—3 章由苏芳珍编写,第 4 章、第 9—10 章由任新成编写,第 5—6 章、第 12—13 章由白少民编写,第 7—8 章由李卫东编写,第 11 章由薛琳娜编写,全书由白少民统稿.

在本教材的编写和出版过程中,受到西安交通大学出版社的大力支持和帮助,西北大学董庆彦、胡晓云、贺庆丽教授,陕西师范大学范中和、王较过教授等对教材的编写提出了许多宝贵的建议和意见,在此一并致谢.

由于作者水平所限,本书的不当和错误之处在所难免,恳请专家及读者不吝指正.

作者

2010 年 1 月

目 录

第三篇 热物理学

第 7 章 热力学基础	(3)
§ 7.1 热力学系统 理想气体状态方程	(3)
一、热力学系统	(3)
二、气体的状态参量	(3)
三、平衡态	(4)
四、理想气体状态方程	(5)
§ 7.2 热力学第一定律	(6)
一、准静态过程	(6)
二、功	(7)
三、热量	(8)
四、内能	(9)
五、热力学第一定律	(9)
§ 7.3 理想气体的等值过程 摩尔热容	(10)
一、等体过程 定体摩尔热容	(10)
二、等压过程 定压摩尔热容	(12)
三、等温过程	(13)
§ 7.4 绝热过程 多方过程	(15)
一、绝热过程	(15)
二、多方过程	(16)
§ 7.5 循环过程 卡诺循环	(19)
一、循环过程	(19)
二、卡诺循环	(21)
§ 7.6 热力学第二定律	(23)
一、热力学第二定律的两种表述	(24)
二、两种表述的等效性	(25)
§ 7.7 可逆过程与不可逆过程 卡诺定理	(26)

一、可逆过程与不可逆过程	(26)
二、卡诺定理	(27)
§ 7.8 熵 熵增加原理	(28)
一、熵的引入	(29)
二、熵变的计算	(31)
三、熵增加原理	(32)
章后结束语	(33)
一、本章小结	(33)
二、应用及前沿发展	(34)
习题与思考	(35)
科学家简介——焦耳	(39)
阅读资料 A: 熵和能量退化 能源	(41)
第 8 章 气体动理论	(43)
§ 8.1 分子动理论的基本观点和统计方法的概念	(43)
一、分子动理论的基本观点	(43)
二、统计方法的一般概念	(44)
§ 8.2 理想气体的压强公式	(45)
一、理想气体的微观模型	(45)
二、理想气体的压强公式	(46)
§ 8.3 温度的微观解释	(48)
§ 8.4 麦克斯韦气体分子速率分布律	(50)
一、测定气体分子速率分布的实验	(50)
二、麦克斯韦气体分子速率分布律	(52)
三、三种速率的推算	(53)
§ 8.5 玻尔兹曼分布	(56)
一、玻尔兹曼分布	(56)
二、重力场中微粒按高度的分布律	(57)
三、等温气压公式	(58)
§ 8.6 能量按自由度均分定理 理想气体的内能和摩尔热容	(59)
一、分子的自由度	(59)
二、能量按自由度均分定理	(59)
三、理想气体的内能和摩尔热容	(60)
§ 8.7 分子的平均碰撞频率和平均自由程	(62)

§ 8.8 气体内的迁移现象	(64)
一、粘滞现象(内摩擦现象)	(64)
二、热传导现象	(65)
三、扩散现象	(66)
§ 8.9 实际气体的范德瓦尔斯方程	(68)
一、分子体积引起的修正	(68)
二、分子引力引起的修正	(69)
§ 8.10 焦耳-汤姆孙实验 实际气体的内能	(71)
一、焦耳实验	(71)
二、焦耳-汤姆孙实验	(71)
三、实际气体的内能	(73)
§ 8.11 热力学第二定律的统计意义	(73)
一、气体自由膨胀过程的不可逆性的微观解释	(73)
二、热力学第二定律的统计意义	(74)
三、熵的统计表达式	(75)
章后结束语	(75)
一、本章小结	(75)
二、应用及前沿发展	(77)
习题与思考	(77)
科学家简介——玻尔兹曼	(79)
阅读资料 B: 自组织现象 低温的获得	(81)

第四篇 振动与波

第 9 章 振动学基础	(86)
§ 9.1 简谐振动	(86)
一、简谐振动的基本特征及其表示	(86)
二、描述简谐振动的特征量	(88)
三、简谐振动的矢量图解法和复数解法	(89)
四、简谐振动的能量	(92)
§ 9.2 阻尼振动	(94)
§ 9.3 受迫振动和共振	(96)
一、受迫振动	(96)
二、共振	(97)
§ 9.4 简谐振动的合成	(98)

一、同方向同频率的两个简谐振动的合成	(98)
二、同方向不同频率的两个简谐振动的合成 拍	(100)
三、相互垂直的简谐振动的合成	(102)
§ 9.5 电磁振荡	(105)
一、LC 电路的振荡	(106)
二、阻尼振荡	(107)
三、受迫振荡 电共振	(112)
章后结束语	(114)
一、本章小结	(114)
二、应用及前沿发展	(116)
习题与思考	(116)
阅读材料 C: 周期运动的分解	(120)
第 10 章 波动学基础	(122)
§ 10.1 机械波的产生和传播	(122)
一、机械波产生的条件	(122)
二、横波和纵波	(123)
三、波射线和波振面	(124)
四、描述波动的几个物理量	(124)
§ 10.2 平面简谐波	(125)
一、平面简谐波的波函数	(125)
二、波动方程及其推导	(129)
§ 10.3 波的能量和能流	(131)
一、波的能量及能量密度	(131)
二、波的能流和能流密度 波强	(133)
三、波的吸收	(134)
§ 10.4 电磁波	(134)
一、平面电磁波的性质	(134)
二、电磁波的能量	(136)
三、电磁波谱	(136)
§ 10.5 惠更斯原理 波的反射、折射和衍射	(138)
一、惠更斯原理	(138)
二、波的反射和折射	(139)
三、波的衍射	(141)

§ 10.6 波的叠加原理、波的干涉和驻波	(141)
一、波的叠加原理	(141)
二、波的干涉现象和规律	(141)
三、驻波	(143)
§ 10.7 多普勒效应	(147)
一、机械波的多普勒效应	(147)
二、电磁波的多普勒效应	(149)
章后结束语	(151)
一、本章小结	(151)
二、应用及前沿发展	(152)
习题与思考	(152)
阅读材料 D: 冲击波	(154)
第 11 章 波动光学	(156)
§ 11.1 光干涉的一般理论	(156)
一、光的叠加原理	(156)
二、光的相干叠加	(157)
三、光程 光程差	(159)
§ 11.2 分波振面干涉	(160)
一、杨氏双缝干涉实验	(160)
二、缝宽对干涉条纹的影响 空间相干性	(162)
三、双缝型的其他干涉装置	(163)
§ 11.3 分振幅干涉	(165)
一、薄膜干涉——等倾干涉条纹	(165)
二、薄膜干涉——等厚干涉条纹	(166)
三、薄膜干涉的应用	(169)
§ 11.4 迈克尔孙干涉仪 * 时间相干性	(170)
一、迈克尔孙干涉仪	(170)
* 二、时间相干性	(171)
§ 11.5 光的衍射现象和惠更斯-菲涅尔原理	(173)
一、光的衍射现象	(173)
二、惠更斯-菲涅尔原理	(174)
三、菲涅尔衍射和夫琅禾费衍射	(174)
§ 11.6 单缝夫琅禾费衍射	(175)

§ 11.7 圆孔的夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨本领	(178)
一、圆孔的夫琅禾费衍射	(178)
* 二、光学仪器的分辨本领	(179)
§ 11.8 光栅的衍射	(181)
一、光栅的衍射花样	(181)
二、光栅方程	(182)
三、光栅光谱	(182)
* § 11.9 X 射线衍射	(183)
§ 11.10 光的偏振态	(185)
一、自然光 线偏振光和部分偏振光	(185)
* 二、椭圆偏振光和圆偏振光	(186)
§ 11.11 偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律	(187)
一、二相色性	(188)
二、偏振片的起偏和检偏	(188)
三、马吕斯定律	(189)
§ 11.12 反射、折射和散射时的偏振现象	(190)
一、反射光和折射光的偏振	(190)
* 二、由散射产生的偏振光	(191)
§ 11.13 双折射现象与光的偏振	(192)
一、晶体的双折射现象	(192)
二、尼科尔棱镜	(193)
三、波片	(194)
* 四、克尔电光效应	(195)
五、偏振光的检测	(196)
§ 11.14 旋光现象	(196)
章后结束语	(198)
一、本章小结	(198)
二、应用及前沿发展	(200)
习题与思考	(200)
阅读材料 E: 光学信息处理	(204)

第五篇 近代物理基础

第 12 章 相对论基础	(209)
§ 12.1 狭义相对论产生的历史背景	(209)

一、力学相对性原理和经典时空观	(209)
二、狭义相对论产生的历史背景和条件	(210)
§ 12.2 狭义相对论的基本原理	(211)
一、狭义相对论的两个基本假设	(211)
二、洛伦兹变换	(212)
三、洛伦兹速度变换关系	(214)
§ 12.3 狭义相对论的时空观	(215)
一、同时的相对性	(215)
二、时间延缓效应	(216)
三、长度收缩效应	(216)
§ 12.4 狭义相对论动力学基础	(217)
一、相对论质量和动量	(218)
二、相对论动力学基本方程	(219)
三、质能关系	(219)
四、能量-动量关系	(221)
章后结束语	(221)
一、本章小结	(221)
二、应用及前沿发展	(223)
习题与思考	(224)
科学家简介——爱因斯坦	(225)
第 13 章 量子力学基础	(228)
§ 13.1 黑体辐射与普朗克的量子假设	(228)
一、黑体辐射的基本规律	(228)
二、普朗克的量子假设	(230)
§ 13.2 光电效应与爱因斯坦的光量子假设	(230)
一、光电效应的实验规律	(231)
二、爱因斯坦光子假设和光电效应方程	(232)
三、光(电磁波)的波-粒二象性	(233)
§ 13.3 氢原子光谱与玻尔的量子论	(234)
一、氢原子光谱的实验规律	(234)
二、玻尔的量子论	(236)
三、玻尔理论的缺陷和意义	(238)
§ 13.4 微观粒子的波-粒二象性 不确定关系	(238)

一、微观粒子的波-粒二象性	(238)
二、不确定关系	(240)
§ 13.5 量子力学的基本概念和基本原理	(242)
一、波函数及其统计解释	(242)
二、薛定谔方程	(244)
三、一维无限深势阱	(246)
§ 13.6 氢原子	(249)
一、氢原子问题的量子力学处理	(249)
二、电子的自旋	(251)
§ 13.7 原子的电子壳层结构	(253)
一、四个量子数	(253)
二、原子的电子壳层结构	(253)
* § 13.8 激光	(255)
一、受激吸收 自发辐射和受激辐射	(255)
二、粒子数反转	(256)
三、光学谐振腔	(257)
四、激光的应用	(258)
* § 13.9 固体的能带理论	(258)
一、电子的共有化	(259)
二、能带的形成	(259)
三、满带、导带和禁带	(260)
四、导体、半导体和绝缘体	(261)
章后结束语	(262)
一、本章小结	(262)
二、应用及前沿发展	(265)
习题与思考	(266)
阅读材料 F: 纳米物理与纳米技术	(268)
习题答案	(271)
附表	(276)
参考文献	(279)

第三篇 热物理学

首先应当指出,热物理学(即热学)部分涉及到的热运动一词有两种含义,一种是作为宏观物质运动形态使用的(如谈到宏观物质的热运动与其他运动形态之间的转化时所用到的那样);另一种是作为构成宏观物质的微观粒子的运动形态来使用的.本教材提到的热运动是指第一种含义,而将微观粒子运动说成粒子的无规则运动.这里所说的宏观物质(由大量微观粒子如分子、原子或离子所组成的系统)的热运动形态实质上就是组成物质的大量微观粒子的无规则运动(机械运动)在总体上所表现出来的一种运动形态(非机械运动).宏观物质的这种热运动形态是以冷热现象(即热现象)为主要标志的.所谓热现象就是与物体冷热程度有关的物理性质及其状态变化.例如,物体受热后体积膨胀,水冷却到一定程度会变成冰;导线受热后电阻会增大,导体在低温下可变成超导体等等,热学就是以研究物质的热运动形态以及热运动与其他运动形态之间的转化规律为研究对象的一门学科.热运动与单个微观粒子的无规则运动不同,既不同于机械运动,也不遵从力学规律(个别粒子运动遵从力学规律),而是遵从统计规律(支配大量个别偶然事件的整体行为的规律).这是热运动区别于机械运动的主要标志.

统计规律在某种意义上也就是将微观量(描写粒子微观性质的物理量)和宏观量(描述系统宏观性质的物理量)联系起来的方法,统计平均的方法(对大数量粒子的微观量求平均值的方法)是

把两类量联系起来的桥梁。

研究热运动可以从宏观的角度去研究,也可以从微观的角度去研究,这就形成了热学的两种理论,即热力学和统计物理学(分子动理论是它的初级理论),也就是热学的宏观理论和微观理论。

热力学不涉及物质的微观结构,只是根据由观察和实验所总结出来的宏观热现象所遵循的基本定律,用严密的逻辑推理方法,研究系统的热学性质.而统计物理学则是从物质的内部微观结构出发,即从组成物质的分子、原子的运动和它们之间的相互作用出发,依据每个粒子所遵循的力学规律,运用统计的方法阐明系统的热学性质.热力学的研究能给出普遍而可靠的结果,可以用来检验微观理论的正确性,统计物理学的研究能深入到热现象的本质,二者相辅相成,相互补充.

本教材先介绍热学的宏观理论(热力学),然后介绍微观理论,而且后者只涉及初等的气体动理论.

第 7 章 热力学基础

本章是热现象的宏观描述——热力学,其主要内容有:平衡态、准静态过程、热量、功、内能、热容等概念;热力学第一定律及其对理想气体等值过程、绝热过程和多方过程的应用;循环过程、卡诺循环、热力学第二定律、熵和熵增加原理等。

§ 7.1 热力学系统 理想气体状态方程

一、热力学系统

在热学中,通常把确定为研究对象的物体或物体系统称为热力学系统(简称为系统),这里所说的物体可以是气体、液体或固体这些宏观物体,在热力系统外部,与系统的状态变化直接有关的一切叫做系统的外界.热力学研究的客体是由大量分子、原子组成的物体或物体系。

若系统与外界没有能量和质量的交换,这样的系统称为孤立系统;与外界没有质量交换,但有能量交换的系统,称为封闭系统;既有质量又有能量交换的系统称为开放系统。

二、气体的状态参量

在力学中研究质点机械运动时,我们用位矢和速度(动量)来描述质点的运动状态.而在讨论由大量作无规则运动的分子构成的气体状态时,位矢和速度(动量)只能用来描述分子运动的微观状态,不能描述整个气体的宏观状态.对一定量的气体,其宏观状态常用气体的体积(V)、压强(P)和热力学温度(T)(简称温度)来描述. P 、 V 、 T 这三个物理量叫做气体的状态参量,是描述整个气体特征的量,它们均为宏观量,而分子的质量、速度、能量等则是微观量。

三个量中,气体的体积(V)是几何参量,是指气体分子所能到达的空间,对于装在容器中的气体,容器的容积就是气体的体积.在国际单位制中,体积的单位是立方米,符号是 m^3 。

气体的压强是力学参量,是作用于容器器壁上单位面积上的正压力.在国际单

位制中,压强的单位是帕斯卡^①,符号为 Pa, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$,有时也用标准大气压(atm),厘米汞柱高(cmHg),它们之间的关系为

$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

温度(T)是物体冷热程度的量度,是热学量.定义温度的科学依据是热力学第零定律^②.要进行温度的测量,必须建立温标,温标是温度的数值表示法.各种各样的温度计都是由各种温标确定的.常用的温标有摄氏温标,而热力学温标是最基本的温标,符号为 T,单位是开尔文(K).1960年国际计量大会规定摄氏温度与热力学温度之间的关系为

$$t = T - 273.15$$

三、平衡态

气体平衡态的概念是个非常重要的概念.把一定质量的气体装在一给定体积的容器中,经过足够长的时间后,容器内各部分气体的压强相等,温度相同,此时气体的状态参量具有确定的值.如果容器中的气体与外界没有能量和物质的交换,气体内部也没有任何形式的能量与物质转化(例如没有发生化学变化或原子核的变化等),则气体的状态参量将不随时间而变化,这样的状态叫做平衡态.应该指出,容器中的气体总不可避免地会与外界发生不同程度的能量和物质交换.所以平衡态只是一个理想的模型.在实际中,如果气体状态的变化很微小,可以忽略不计时,就可以把气体的状态看成是近似平衡态.还应指出,气体的平衡态只是一种动态平衡,因为分子的无规则运动是永不停息的.通过气体分子的运动和相互碰撞,在宏观上表现为气体各部分的密度、温度、压力均匀且不随时间变化.

对于处在平衡态、质量为 M 的气体,它的状态可用 P 、 V 、 T 三个量值来表示.例如,一组参量 P_1 、 V_1 、 T_1 表示一个状态,另一组参量 P_2 、 V_2 、 T_2 表示另一状态,在以 P 为纵轴, V 为横轴的 P - V 图上,气体的一个平衡状态可以用一个确定的点来表示.如图 7.1 中的点 $A(P_1, V_1, T_1)$ 或点 $B(P_2, V_2, T_2)$.

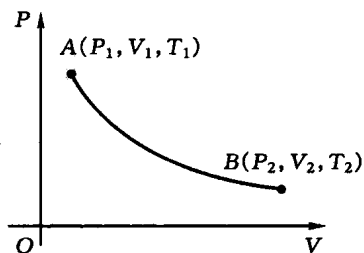


图 7.1 P - V 图

^① 帕斯卡(B. Pascal, 1623—1662),法国数学家,物理学方面的成就主要是流体力学.他提出大气压力随高度的增加而减少的思想,后得到证实.为纪念他,国际单位制中压强的单位用“帕斯卡”命名.

^② 如有兴趣了解热力学温标的建立,可参阅黄淑清、聂宜如、申先甲编《热学》12—21页.