



普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理基础教程

主 编 王雅红 梁 红 韩 笑



科学出版社

013026165

04-43
206

内 容 简 介

普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理基础教程

主 编 王雅红 梁 红 韩 笑

副主编 刘 莹 袁 泉 王 琳

林欣悦 刘国松



科学出版社

北京



北航

C1633421

04-43
206

013338182

内 容 简 介

本书是根据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 2010 年重新制订的《非物理类理工学科学物理课程教学基本要求》及大学物理课程教学改革需要编写而成的。全书力图在切实加强基础理论的同时,突出培养学生分析问题、解决问题的能力 and 独立获取知识的能力。

本书与中学物理课程衔接,包括力学、电磁学、波动光学及近代物理四部分。力学重点为机械振动和机械波;电磁学重点为静电场、稳恒磁场和电磁感应;波动光学的重点为光的干涉、衍射和偏振;近代物理包括狭义相对论及量子物理基础。参考学时为 56~72 学时。

本书可作为工科大学各专业、理科与师范学校非物理专业及成人教育相关专业的大学生教材,也可供有兴趣者自学。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理基础教程/王雅红,梁红,韩笑主编. —北京:科学出版社,2013.1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-036184-4

I. ①大… II. ①王…②梁…③韩… III. 物理学-高等学校-教材IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 297213 号

责任编辑:昌盛 王刚/责任校对:赵桂芬

责任印制:阎磊/封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳艺恒彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 1 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2013 年 1 月第一次印刷 印张:19

字数:389 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

普通物理学教程

普通物理学教程

普通物理学教程

普通物理学教程

普通物理学教程

物理学研究的是物质的基本结构及物质运动的普遍规律. 它是一门严格的、精密的基础科学. 物理学的新发现、所产生的新概念及新理论常常发展为新的学科或学科分支. 它的基本概念、基本理论与实验方法向其他学科或技术领域的渗透总是毫无例外地促成该学科或技术领域发生革命性变化或里程碑式进步. 历史上几次重要的技术革命都是以物理学的进步为先导的. 例如, 电磁学的产生与发展导致了电力技术和无线电技术的诞生, 形成了电力与电子工业; 放射性的发现导致了原子核科学的诞生与核能的利用, 使人类进入了原子能时代; 固体物理的发展导致了晶体管与集成电路的问世, 进而形成了强大的微电子工业与计算机产业; 激光的出现导致光纤通信与光盘存储等一系列光电子技术与产业的诞生. 微电子、光电子、计算机及与之相匹配的软件正在使人类进入信息社会.

当前, 科学技术发展的学科交叉与结合特征更为突出. 物理学正在进一步与生物学、化学和材料科学结合, 使后者的研究向更深的层次发展. 因此可以毫不夸张地说, 物理基础是学好各自然科学和工程技术科学的基础. 工科大学生物理基础的厚薄将会影响他们日后的工作适应能力和发展后劲. 物理学教育对于大学生素质教育的作用 is 任何学科都无法取代的.

在学习大学物理课时, 不仅要掌握基本物理定理、定律等的内容和它们的适用条件, 而且要注意学习如何运用定理、定律分析解决问题的思路和方法; 不仅要孤立地掌握好一个一个定理、定律, 而且要熟悉各章各节和各定理、定律之间的关系, 从整体上理解和掌握物理学.

本书总结了教师们多年来从事大学物理课教学的经验, 并汲取了国内外一些物理教材的优点, 其主要特点如下:

1. 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 2010 年重新制订的《非物理类理工学科学物理课程教学基本要求》精选了内容; 编写中注意与中学物理的衔接, 适当地提高了起点, 全书从系统设置、内容安排到教学

要求切合当前大学物理教学改革现状。

2. 编写中注重物理概念的阐述,定理、定律等表述准确、清楚、简洁,文字流畅,易教、易学。

3. 精选了例题、习题,例题求解过程注意引导、培养学生科学思维的方法和分析问题、解决问题的能力;习题与理论配合较好,有难有易,数量适中。

本书第1章、第2章及附录、习题参考答案由哈尔滨学院梁红执笔,第3章、第4章、第7章由大连工业大学王雅红执笔,第5章由大连工业大学王琳执笔,第6章由沈阳大学韩笑、林欣悦执笔,第8章由辽宁工业大学袁泉执笔,第9章由长春工程学院刘莹、刘国松执笔,全书由大连工业大学王雅红定稿,大连大学安宏教授仔细审阅了本书。

由于编者水平有限,虽经反复审校,书中难免有疏漏和错误之处,敬请专家、同行和读者不吝指正。

2012年9月

编者

目 录

30	.....	真空中的静电场	第 1 章
32	.....	1.1 电场强度 场强叠加原理	1.1
32	.....	1.1.1 电荷 电荷守恒定律	1.1.1
33	.....	1.1.2 库仑定律	1.1.2
33	.....	1.1.3 电场 场强叠加原理	1.1.3
41	.....	1.2 电通量 高斯定理	1.2
	.....	1.2.1 电场线	1.2.1
	.....	1.2.2 电通量	1.2.2
	.....	1.2.3 高斯定理	1.2.3
	.....	1.2.4 应用高斯定理求电场强度	1.2.4
	.....	1.3 静电场的环路定理	1.3
	.....	1.3.1 静电场力的功	1.3.1
	.....	1.3.2 静电场力的环路定理	1.3.2
	.....	1.4 电势能 电势	1.4
	.....	1.4.1 电势能	1.4.1
	.....	1.4.2 电势	1.4.2
	.....	1.4.3 电势的计算	1.4.3
	.....	1.5 电场强度与电势梯度	1.5
	.....	1.5.1 等势面	1.5.1
	.....	1.5.2 电势梯度	1.5.2
47	.....	本章要点	28
50	.....	习题	30

第 2 章 静电场中的导体与电介质	35
2.1 静电场中的导体	35
2.1.1 静电平衡条件	35
2.1.2 静电平衡时导体上的电荷分布	36
2.1.3 静电屏蔽	41
2.2 静电场中的电介质	43
2.2.1 电介质的电极化现象	43
2.2.2 介电强度和介电损耗	45
2.3 电位移 有电介质时的高斯定理	46
2.4 电容 电容器	48
2.4.1 孤立导体的电容	48
2.4.2 电容器的电容	49
2.4.3 电介质对电容器电容的影响	49
2.4.4 几种典型电容器	50
2.4.5 电容器的联结	52
2.5 静电场的能量	55
本章要点	59
习题	60
第 3 章 恒定磁场	65
3.1 磁场 磁感应强度	65
3.1.1 磁现象	65
3.1.2 磁场 磁感应强度	66
3.2 毕奥-萨伐尔定律	68
3.2.1 毕奥-萨伐尔定律	68
3.2.2 毕-萨定律的应用举例	69
3.3 磁场高斯定理	74
3.3.1 磁感应线	74
3.3.2 磁通量	75
3.3.3 磁场的高斯定理	76

3.4	安培环路定理	76
3.4.1	安培环路定理	76
3.4.2	安培环路定理的应用	79
3.5	磁场对电流的作用	84
3.5.1	磁场对载流导线的作用	84
3.5.2	匀强磁场对平面载流线圈的作用	86
3.6	带电粒子在磁场中的运动	88
3.6.1	洛伦兹力	88
3.6.2	带电粒子在均匀磁场中的运动	89
3.6.3	带电粒子在非均匀磁场中的运动	91
3.6.4	霍尔效应	92
3.7	磁介质	94
3.7.1	磁介质的分类	95
3.7.2	顺磁质和抗磁质的磁化	95
3.7.3	磁介质中的安培环路定理 磁场强度	98
3.7.4	铁磁质	102
	本章要点	104
	习题	106
第4章	电磁感应 电磁场	112
4.1	电磁感应	112
4.1.1	电磁感应现象	112
4.1.2	电动势	113
4.1.3	电磁感应定律	115
4.2	感应电动势	117
4.2.1	动生电动势	117
4.2.2	感生电动势 感生电场	120
4.2.3	电子感应加速器	122
4.3	自感和互感	124
4.3.1	自感	124

07	4.3.2 互感	125
07	4.4 磁场能量	127
07	4.5 麦克斯韦电磁场理论简介	129
18	4.5.1 位移电流	129
18	4.5.2 麦克斯韦方程组的积分形式	132
08	本章要点	135
88	习题	136
第 5 章 机械振动		140
08	5.1 简谐运动	140
10	5.1.1 简谐运动	141
50	5.1.2 描述简谐振动的物理量	143
10	5.2 简谐运动的旋转矢量表示	146
20	5.2.1 简谐运动的旋转矢量表示法	146
20	5.2.2 相位差	148
80	5.3 简谐运动的能量	149
501	5.4 简谐运动的合成	150
101	5.4.1 两个同方向同频率简谐运动的合成	150
801	5.4.2 两个相互垂直的同频率简谐运动的合成	151
511	本章要点	154
511	习题	156
第 6 章 机械波		160
811	6.1 机械波的产生和传播	160
511	6.1.1 机械波的产生和传播	160
711	6.1.2 纵波和横波	161
711	6.1.3 描述波动的三个基本物理量	161
051	6.1.4 波线、波面和波前	163
551	6.2 平面简谐波的波函数	164
151	6.2.1 平面简谐波的波函数	165
151	6.2.2 波函数的物理意义	166

6.3	波的能量	169
6.3.1	波动能量的传播	169
6.3.2	能流和能流密度	170
6.4	惠更斯原理	171
6.4.1	惠更斯原理	171
6.4.2	惠更斯原理的应用	173
6.5	波的干涉	173
6.5.1	波的叠加原理	173
6.5.2	波的干涉	174
6.6	驻波	176
6.7	多普勒效应	177
6.7.1	波源静止,观察者相对于介质运动	178
6.7.2	观察者静止,波源相对于介质运动	178
6.7.3	波源和观察者同时相对于介质运动	179
	本章要点	179
	习题	180
第7章	波动光学	185
7.1	光是电磁波	185
7.1.1	电磁波	185
7.1.2	光是电磁波	188
7.1.3	光程及光程差	189
7.2	相干光	190
7.2.1	光的干涉现象	190
7.2.2	相干条件	190
7.3	杨氏双缝干涉	192
7.4	薄膜干涉	195
7.4.1	薄透镜的等光程性	195
7.4.2	薄膜干涉	196
7.4.3	增透膜和增反膜	198

001	7.5	劈尖与牛顿环	199
001	7.5.1	劈尖干涉	200
071	7.5.2	牛顿环	201
171	7.6	迈克耳孙干涉仪	203
171	7.7	光的衍射	205
871	7.7.1	光的衍射现象	205
871	7.7.2	惠更斯-菲涅耳原理	206
871	7.8	夫琅禾费单缝衍射	207
171	7.8.1	单缝的夫琅禾费衍射现象	207
871	7.8.2	菲涅耳半波带法求极值	208
771	7.9	光栅衍射	211
871	7.9.1	光栅	211
871	7.9.2	光栅衍射条纹的形成	212
871	7.10	光的偏振性 马吕斯定律	215
071	7.10.1	自然光 偏振光	215
081	7.10.2	偏振片 起偏与检偏	217
081	7.10.3	马吕斯定律	218
081	7.11	反射光和折射光的偏振	219
081	7.11.1	反射和折射时的偏振	219
881	7.11.2	布儒斯特定律	219
081		本章要点	220
081		习题	222
	第8章	狭义相对论	231
001	8.1	经典力学相对性原理 牛顿力学时空观	231
001	8.1.1	经典力学相对性原理	231
001	8.1.2	牛顿力学时空观	232
001	8.2	狭义相对论基本原理 洛伦兹变换	232
001	8.2.1	狭义相对论两条基本原理	232
101	8.2.2	洛伦兹变换	233

8.3	狭义相对论时空观	234
8.3.1	长度收缩	234
8.3.2	时间膨胀(或运动的时钟变慢)	236
8.3.3	同时的相对性	237
8.4	狭义相对论动力学的基本结论	238
8.4.1	质量与速度的关系	238
8.4.2	相对论动力学的基本方程	239
8.4.3	质量与能量的关系	239
8.4.4	动量与能量的关系	241
	本章要点	242
	习题	243
第9章	量子物理基础	246
9.1	黑体辐射 普朗克量子假设	246
9.1.1	热辐射 黑体辐射基本规律	246
9.1.2	普朗克量子假设	248
9.2	光的量子性	249
9.2.1	光电效应	249
9.2.2	爱因斯坦光子假说	251
9.2.3	光的波粒二象性	252
9.3	康普顿散射	252
9.4	实物粒子的波动性	254
9.4.1	德布罗意物质波	254
9.4.2	德布罗意波的统计解释	255
9.5	薛定谔方程	256
9.5.1	不确定关系	256
9.5.2	波函数	256
9.5.3	薛定谔方程	257
9.6	氢原子理论	259
9.6.1	氢原子光谱的实验规律	259

133	9.6.2 玻尔的氢原子理论	260
133	9.6.3 玻尔理论的成功和局限性	263
133	9.6.4 氢原子光谱规律的量子力学解释	264
133	9.7 原子的壳层结构	266
133	本章要点	267
133	习题	269
	参考文献	272
	附录	273
143	附录 A 希腊字母	273
143	附录 B 一些基本物理常数	274
143	附录 C 数学基础	275
	习题参考答案	280

第 1 章 真空中的静电场

电磁运动是物质的一种基础运动形式. 电磁相互作用是自然界已知的四种基本相互作用之一, 也是人们认识得较深入的一种相互作用. 在日常生活和生产活动中, 在物质结构的深入认识中, 都要涉及电磁运动, 因此, 理解和掌握电磁运动的基本规律, 在理论上和实践上都有极重要的意义.

一般来说, 运动电荷将同时激发电场和磁场, 电场和磁场是相互关联的. 但是, 在某种情况下, 例如当我们所研究的电荷相对某参考系静止时, 电荷在这个静止参考系中就只激发电场, 而无磁场, 这个电场就是本章所要讨论的静电场.

本章的主要内容有: 描述静电场的基本物理量电场强度和电势等; 静电场的基本定律——库仑定律; 静电场的两条基本定理——高斯定理和环路定理.

1.1 电场强度 场强叠加原理

1.1.1 电荷 电荷守恒定律

在 2000 多年前, 希腊人就发现琥珀被毛织物摩擦后, 能够吸引羽毛、草屑等轻小物体, 后来发现玻璃棒、硬橡胶棒等用毛皮或丝绸摩擦后也能吸引轻小的物体. 物体有了这种吸引轻小物体的性质, 就说它带了电, 或者说有了电荷. 英文中 electricity(电)这个词来源于希腊文, 原意是琥珀. 所以, 带电原来是“琥珀化”了的意思, 表示物体处在一种特殊的状态. 实验指出, 两根用毛皮摩擦过的硬橡胶棒互相排斥; 两根用丝绸摩擦过的玻璃棒也相互排斥; 可是用毛皮摩擦过的硬橡胶棒与丝绸摩擦过的玻璃棒却互相吸引. 这表明硬橡胶棒上的电荷和玻璃棒上的电荷是不同的. 实验证明, 所有其他物体不论用什么方法带电, 所带的电荷或者与玻璃棒上的电荷相同, 或者与硬橡胶棒上的电荷相同. 这说明自然界中只存在两种电荷, 而且同种电荷互相排斥, 异种电荷互相吸引. 富兰克林(B. Franklin)首先用正、负电

荷的名称来区分两种电荷.人们在总结各种电现象后,在一个与外界没有电荷交换的系统内,正负电荷的代数和在任何物理过程中保持不变,这就是**电荷守恒定律**.近代科学实验证明,电荷守恒定律不仅在一切宏观过程中成立,而且为一切微观过程(如核反应和基本粒子过程)所普遍遵守.电荷守恒定律是物理学中普遍的基本定律之一.电荷另一重要特征是量子性.1906~1917年,密立根(R. A. Millikan)用油滴法测定了电子的电荷,三次改进了实验方法,取得了上千次的测量数据,首先从实验上证明,微小粒子带电量的变化是不连续的,它只能是某个元电荷 e 的整数倍,这就是说粒子的电荷是量子化的,迄今所知,电子是自然界存在的最小负电荷,质子是最小正电荷.实验得出,质子与电子电量之差小于 $10^{-20}e$,通常认为它们的电量完全相等. e 的现代(1998年)精确值为

$$e = 1.602176462 \times 10^{-19} \text{ C}$$

式中, C (库仑)是电量的单位.

在研究宏观电磁现象时,所涉及的电荷通常总是电子电荷的许多倍.在这种情况下,可认为电荷连续分布在带电体上,而忽略电荷的量子性.

1.1.2 库仑定律

1785年法国物理学家库仑用自制的精密扭秤确定了两点电荷间相互作用力与它们间距离平方成反比的关系.随后,德国的科学家高斯(K. F. Gauss)给出两点电荷间相互作用力与电量的定量关系.上述点电荷间相互作用规律称为**库仑定律**.

点电荷和质点一样也是一个理想的模型.当带电体的几何线度比起与其他带电体之间的距离充分小时,这时带电体的形状和电荷在其中的分布已无关紧要,则称此带电体为点电荷.

如图 1-1 所示,库仑定律可表述为:在真空中两个静止点电荷之间的相互作用力的大小,与它们的电量 q_1 和 q_2 的乘积成正比,与它们之间的距离 r 的平方成反比;作用力的方向沿着它们的连线,同号电荷相斥,异号电荷相吸.

若以 F 表示作用力的数值,则库仑定律的数学表示式为

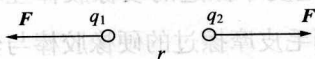


图 1-1

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1-1)$$

为了同时表示为 F 的大小和方向, 可将式(1-1)写成矢量式

$$\mathbf{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_r \quad (1-2)$$

式中, \mathbf{e}_r 为由施力电荷指向受力电荷的单位矢量。

在 SI 制中, 将式(1-1)和式(1-2)中的比例系数 k 写成

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

的形式, 其中 ϵ_0 称为真空电容率或真空介电常量, 2002 年推荐值为

$$\epsilon_0 = 8.854187817 \times 10^{-12} \text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

因此, 在 SI 制中, 库仑定律可写成

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_r \quad (1-3)$$

实验表明, 两个静止点电荷之间的相互作用力, 并不因为有第三个静止电荷的存在而改变, 当空间中有两个以上的点电荷(如 q_1, q_2, \dots, q_n)存在时, 作用在每一个点电荷(如 q_0)上的总静电力 \mathbf{F} 等于其他点电荷单独存在时作用于该点电荷上的静电力的矢量和, 即

$$\mathbf{F} = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_i}{r_i^2} \mathbf{e}_i \quad (1-4)$$

这就是静电力的叠加原理。有了库仑定律和静电力叠加原理, 原则上可求解任意带电体之间的静电力。

最后, 还要说明两点: ①虽然库仑定律是通过宏观带电体的实验总结出来的规律, 但物理学进一步的研究表明, 原子结构、分子结构、固体和液体的结构, 以至化学作用等问题的微观本质和电磁力(其中主要部分是库仑力)

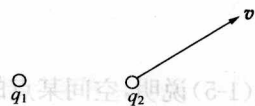


图 1-2

有关。而在这些问题中, 万有引力的作用十分微小, 例如氢原子中电子和质子间库仑力比万有引力约大 2×10^{39} 倍。②如图 1-2 所示的两点电荷 q_1, q_2 , 当 q_1 静止, q_2 运动时, 则 q_2 受 q_1 的作用仍然可用库仑定律计算, 而 q_1 受 q_2 的作用力不再能用库仑定律计算。

1.1.3 电场 场强叠加原理

1. 电场和电场强度

早期电磁理论认为两个非接触的带电体之间的相互作用既不需要任何由原子、分子组成的物质来传递,也不需要传递时间.后来,法拉第在大量实验研究的基础上,提出了以近距作用观点为基础的场的概念.任何电荷都在自己周围的空间激发电场;而电场的基本性质是,它对于处在其中的任何其他电荷都有作用,称为**电场力**.因此,电荷与电荷之间是通过电场发生作用的.本章只讨论相对于观察者静止的电荷在其周围空间产生的电场,称为**静电场**.

电场虽然不像由原子、分子组成的实物那样看得见、摸得着,但它所具有的一系列物质属性,如具有能量、动量,能施于电荷作用力等而被我们所感知.因此,电场是一种客观存在,是物质存在的一种形式.

电场的一个重要性质是它对电荷有作用力,我们以此来定量地描述电场,引入**电场强度矢量**的概念.在电场中引入一个电荷 q_0 ,通过观测 q_0 在电场中不同点的受力情况来研究电场的性质,这个被用来作探测工具的电荷 q_0 称为**试探电荷**.为了保证测量的精确性, q_0 所带的电量必须很小,几乎不会影响原电场的分布;同时要求 q_0 的几何线度必须很小,以反映电场中某一点的性质.

实验表明,在电场中不同点,试探电荷 q_0 所受的力 F 的大小和方向一般是不同的.利用库仑定律可以证明,对于电场中的任一固定点来说,比值 F/q_0 是一个无论大小和方向都与试探电荷无关的矢量,它反映了电场本身的性质,把它定义为**电场强度**,简称**场强**,用 E 表示,即

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (1-5)$$

式(1-5)说明,空间某点的电场强度定义为这样一个矢量,其大小等于单位正电荷在该处所受到的电场力的大小,其方向与正电荷在该处所受到的电场力方向一致.在SI制中,电场强度的单位是牛顿/库仑($N \cdot C^{-1}$),以后会看到,场强的单位又可写作伏特/米($V \cdot m^{-1}$),这是实际应用中更经常的写法.

电场中每一点上都相应有一个场强矢量 E ,这些矢量的总体称为**矢量场**.用数学的语言来说,矢量场是空间坐标的一个矢量函数.在以后的讨论中,着眼点往