

21世纪普通高等学校公共课规划教材

大学物理

下 册

张铁强 主编

D A X U E W U L I

辽宁大学出版社

21 世纪普通高等学校公共课规划教材

大学物理

下 册

D A X U E W U L I

主 编：张铁强

副主编：王丽芝 陆 智 李洪奎

编 委：雍 平 刘 毅 王 奕

辽宁大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理. 下册/ 张铁强主编. — 沈阳: 辽宁大学出版社, 2009. 12

21 世纪普通高等学校公共课规划教材

ISBN 978 - 7 - 5610 - 5975 - 3

I. ①大… II. ①张… III. ①物理学 — 高等学校 — 教材 IV. ① 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 234082 号

前 言

物理学是研究物质基本结构、基本运动形式的基础自然科学,是其他自然科学和工程技术的基础,是人才培养和科学素质教育的基石。因此,我国普通高等学校将大学物理作为理工科学生必修的基础课程。大学物理对提高学生的科学素养,对提高学生的专业学习能力有着基础性的作用。

为推进大学物理课程改革,提高教学质量,我们组织教学一线的骨干教师,编写了这套《大学物理》(上、下册)教材。教材以教育部高等学校物理基础课程教学指导分委员会制定的《非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求》为依据,结合教学实际编写而成。

本册包括静电场、恒定电流的磁场、变化的电磁场、波动光学、相对论基础、量子物理基础等内容,可以满足电磁学、光学、近代物理三个版块教学的需要。

《大学物理》课程改革是一个系统工程,本教材在内容上系统完整,介绍了教育部《非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求》规定的基本内容,并附大学生应知应会的基础知识;在教与学的方法上进行了创新,不仅编写了具有新意的教材,而且编制了教学软件和学习软件,并配置了《大学物理》学习指导,构建起《大学物理》课程教与学的平台。

本套教材既是每个编者勤奋工作的成果,也是集体汗水的结晶。本书由教育部高等学校物理基础课程教学指导分委员会委员、吉林大学教授张铁强担任主编,本册由王丽芝、陆智、李洪奎担任副主编。

各章具体分工如下:沈阳化工学院王丽芝撰写第七章;长江师范学院陆智撰写第十章;沈阳理工大学李洪奎撰写第十二章;哈尔滨工业大学华德应用技术学院雍平撰写第九章、刘毅撰写第十一章;沈阳理工大学王奕撰写第八章。全书由主编张铁强统稿。

由于编写时间仓促,加之水平有限,疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009年12月

CONTENTS 目 录

第七章 静电场	3
7.1 库仑定律	3
7.1.1 电荷	3
7.1.2 电荷守恒定律	4
7.1.3 库仑定律	5
7.2 电场与电场强度	7
7.2.1 电场	7
7.2.2 电场强度	7
7.2.3 电场强度的计算	8
7.2.4 电场线	15
7.2.5 电通量	17
7.3 静电场的高斯定理	18
7.3.1 静电场的高斯定理	18
7.3.2 高斯定理的应用	21
7.4 静电场的环路定理及电势	26
7.4.1 静电场的环路定理	26
7.4.2 电势与电势差	28
7.4.3 电势的计算	29
7.4.4 等势面	33
7.4.5 电场强度与电势梯度	34
7.5 静电场中的导体	37
7.5.1 导体的静电平衡	37
7.5.2 静电平衡时导体上的电荷分布	38
7.5.3 空腔导体	40

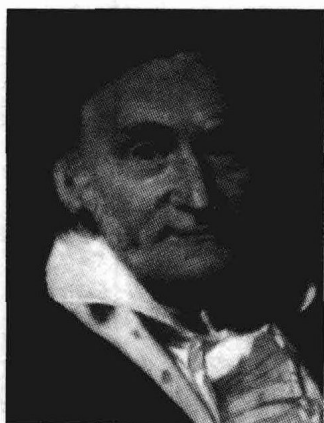
7.6 电容与电容器	41
7.6.1 孤立导体的电容	41
7.6.2 电容器	42
7.6.3 电容器的连接	45
7.7 静电场中的电介质	46
7.7.1 电介质的极化	46
7.7.2 电极化强度	47
7.7.3 电极化强度与极化电荷的关系	48
7.7.4 介质中的静电场	49
7.7.5 电介质存在时的高斯定理	52
7.8 静电场的能量	55
7.8.1 电容器的电能	55
7.8.2 静电场的能量与能量密度	56
综合复习题 7	57
第八章 恒定电流的磁场	63
8.1 恒定电流	63
8.1.1 电流	63
8.1.2 电流密度	64
8.1.3 恒定电流的条件	66
8.1.4 电源电动势	66
8.2 磁感应强度	67
8.2.1 磁现象	67
8.2.2 磁场	68
8.2.3 磁感应强度	69
8.2.4 磁感应线与磁通量	70
8.3 毕奥-萨伐尔定律	72
8.3.1 毕奥-萨伐尔定律	72
8.3.2 运动电荷的磁场	73
8.3.3 毕奥-萨伐尔定律的应用	74
8.4 磁高斯定理与安培环路定理	78
8.4.1 磁高斯定理	78
8.4.2 安培环路定理	79
8.4.3 安培环路定理的应用	80
8.5 带电粒子在磁场中的运动	84

8.5.1 洛伦兹力	■ 84
8.5.2 带电粒子在匀强磁场中的运动	■ 86
8.5.3 霍尔效应	■ 87
8.6 磁场对电流的作用	■ 88
8.6.1 安培力	■ 88
8.6.2 磁力矩	■ 92
8.6.3 磁场力的功	■ 95
8.7 有磁介质时的安培环路定理	■ 97
8.7.1 磁介质	■ 97
8.7.2 磁化强度	■ 99
8.7.3 磁介质中的安培环路定理及磁场强度	■ 99
综合复习题 8	■ 102
 第九章 变化的电磁场	 ■ 107
9.1 电磁感应定律	■ 107
9.1.1 电磁感应现象	■ 107
9.1.2 楞次定律	■ 109
9.1.3 法拉第电磁感应定律	■ 110
9.2 动生电动势与感生电动势	■ 112
9.2.1 动生电动势	■ 112
9.2.2 感生电动势	■ 116
9.3 自感与互感	■ 119
9.3.1 自感	■ 119
9.3.2 互感	■ 121
9.4 磁场的能量	■ 126
9.4.1 磁场的能量	■ 126
9.4.2 磁场能量密度	■ 127
9.5 位移电流	■ 129
9.5.1 位移电流	■ 129
9.5.2 全电流环路定理	■ 131
9.6 麦克斯韦电磁场方程组	■ 133
9.7 电磁波	■ 135
9.7.1 从电磁振荡到电磁波	■ 135
9.7.2 赫兹实验	■ 137

9.7.3 电磁波的波谱	138
综合复习题9	139
第十章 波动光学	143
10.1 光的相干性	143
10.1.1 光源与单色光	143
10.1.2 相干光	144
10.1.3 相干光的获得方法	144
10.2 光程与光程差	145
10.2.1 光程	145
10.2.2 光程差	145
10.2.3 物像之间的等光程性	146
10.3 双缝干涉	147
10.3.1 杨氏双缝干涉	147
10.3.2 干涉明暗条纹的位置及分布特性	148
10.3.3 洛埃德镜实验	150
10.4 薄膜干涉	151
10.4.1 等倾干涉	152
10.4.2 等厚干涉	154
10.4.3 迈克耳孙干涉仪	157
10.5 光的衍射	158
10.5.1 光的衍射现象	158
10.5.2 菲涅耳衍射和夫琅禾费衍射	158
10.5.3 惠更斯-菲涅耳原理	159
10.6 夫琅禾费衍射	160
10.6.1 单缝的夫琅禾费衍射	160
10.6.2 圆孔的夫琅禾费衍射	164
10.6.3 光学仪器的分辨本领	165
10.7 光栅衍射	166
10.7.1 光栅衍射	166
10.7.2 光栅方程	167
10.7.3 缺级	167
10.7.4 光栅光谱	168
10.8 光的偏振	170

10.8.1 线偏振光与自然光	170
10.8.2 部分偏振光	171
10.8.3 椭圆偏振光与圆偏振光	171
10.9 偏振光的获得与检测	172
10.9.1 偏振光的获得	172
10.9.2 偏振光的检测	176
10.9.3 旋光现象	177
综合复习题 10	178
第十一章 狭义相对论基础	183
11.1 狭义相对论的基本原理	183
11.1.1 伽利略变换与经典时空观念	183
11.1.2 狭义相对论产生的背景和条件	184
11.1.3 狭义相对论的基本原理	185
11.1.4 洛伦兹变换	185
11.1.5 相对论速度变换	187
11.2 狭义相对论的时空观	189
11.2.1 同时性的相对性	189
11.2.2 时间延缓效应	190
11.2.3 长度收缩效应	190
11.3 狭义相对论动力学	192
11.3.1 质速关系	193
11.3.2 相对论动力学基本方程	194
11.3.3 能量-动量关系	197
综合复习题 11	197
第十二章 量子物理基础	201
12.1 热辐射与普朗克的能量子假设	201
12.1.1 热辐射	201
12.1.2 基尔霍夫辐射定律	202
12.1.3 黑体辐射的实验定律	203
12.1.4 普朗克的能量子假设	204
12.2 光电效应与爱因斯坦的光子理论	206
12.2.1 光电效应的实验规律	206
12.2.2 爱因斯坦的光子假说	208

12.2.3 光的波粒二象性	210
12.3 康普顿效应	210
12.3.1 康普顿效应的实验规律	210
12.3.2 光子理论对康普顿效应的解释	212
12.4 氢原子光谱与玻尔的量子论	213
12.4.1 原子的核型结构	213
12.4.2 氢原子光谱的规律性	214
12.4.3 玻尔的量子论	216
12.5 微观粒子的波粒二象性与不确定关系	217
12.5.1 德布罗意波	217
12.5.2 戴维孙-革末实验	218
12.5.3 微观粒子的波动性	219
12.5.4 德布罗意波的统计解释	220
12.5.5 不确定关系	220
12.6 波函数与薛定谔方程	223
12.6.1 波函数及其统计解释	223
12.6.2 薛定谔方程	225
12.7 一维无限深方势阱与一维势垒	227
12.7.1 一维无限深方势阱	227
12.7.2 一维势垒与隧道效应	230
12.8 电子的自旋与原子的电子壳层结构	232
12.8.1 施特恩-格拉赫实验	232
12.8.2 电子的自旋	234
12.8.3 原子的电子壳层结构	234
综合复习题 12	236
综合复习题参考答案	239



高 斯

卡尔·弗里德里希·高斯
(Carl Friedrich Gauss, 1777—
1855), 德国著名数学家、物理
学家和天文学家。

●走近科学人物

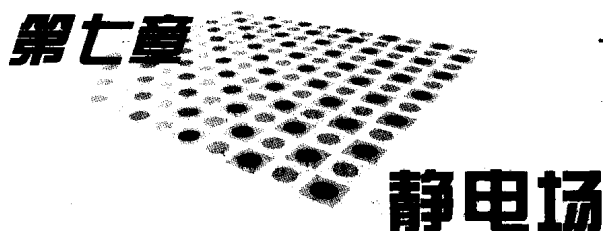
高斯生于德国不伦瑞克, 幼年因显示出过人的数学才能而有“数学王子”的美誉。高斯毕业于格丁根大学, 曾任格丁根大学教授, 格丁根天文台台长。

高斯早期研究过数论, 成果收入所著的《算术研究》中。他对超几何级数、复变函数论、统计数学、椭圆函数论有重大贡献。他建立的经典曲面论是近代微分几何的开端。他对物理学、天文学、测地学等也有很大贡献, 奠定了在平衡状态下液体的理论基础。他研究地磁强度, 与德国物理学家韦伯共同建立了电磁学中的高斯单位制。晚年写成了《天体运动论》。



8. 1. 2. 3. 4.

第七章



静电场

电磁运动是自然界中存在的普遍的运动形态之一. 自然界中的所有变化几乎都与电和磁相联系. 所以, 研究电磁运动对于深入认识物质世界是十分重要的. 同时, 由于电磁学已经渗透到现代自然科学的各个分支和技术领域的各个部门, 并成为其理论基础, 因而学习电磁学、掌握电磁运动的基本规律具有重要意义. 本章主要介绍静电场的库仑定律, 引入描述电场的两个重要物理量——电场强度和电势, 同时介绍反映静电场基本性质的场强叠加原理、高斯定理和环路定理.

7.1 库仑定律

7.1.1 电荷

1. 电荷

摩擦起电现象让人们有了最初的认识. 如果把用丝绸摩擦过的玻璃棒用细线系其中间, 并水平地悬挂起来, 把另一根用丝绸摩擦过的玻璃棒去靠近它, 它们将互相排斥; 而用毛皮摩擦过的硬橡胶棒去靠近它, 它们将相互吸引. 这说明, 用丝绸摩擦过的玻璃棒和用毛皮摩

擦过的硬橡胶棒都带有电荷,并且带有不同的电荷.人们把用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷规定为正电荷;而把用毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带的电荷规定为负电荷.

大量实验证明,电荷只有两种,即正、负电荷.同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引.美国物理学家富兰克林首先以正电荷、负电荷的名称来区分两种电荷,这种命名法一直延续到现在.宏观带电体所带的电荷种类的不同源于组成它们的微观粒子电荷种类不同:电子带负电荷,质子带正电荷,中子不带电荷.

带电体所带电荷的多少叫电量.电量常用 Q 或 q 表示,在国际单位制中,它的单位是库仑,符号为 C.正电荷电量取正值,负电荷电量取负值.一个带电体所带总电量为其所带正负电荷的代数和.

2. 电荷的量子性

实验证明,在自然界中,电荷的电量总是以一个基本单元的整数倍出现,电荷的这个特性叫作电荷的量子性.电荷的基本单元(基元电荷)就是一个电子所带电量的绝对值,常以 e 表示.经测定,

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

任何物体所带电量一定是基元电荷的正负整数倍.微观粒子所带的基元电荷的数目也叫作它们各自的电荷数,都是正整数或负整数.近代物理学从理论上预言基本粒子由若干种夸克或反夸克组成,每个夸克或反夸克可能带有 $\pm \frac{1}{3}e$ 或 $\pm \frac{2}{3}e$ 的电量.但至今仍未发现独立存在的夸克.

电磁学理论主要是讨论电磁现象的宏观规律,所涉及的电荷量远远高于基元电荷.所以,通常研究相关问题时,只从平均效果上考虑即可,可以认为电荷连续地分布在带电物体上.

从宏观意义上讨论电子、质子等带电粒子时,完全可以把它们视为点电荷.点电荷是一个理想模型,它是一个没有形状和大小而只带有电荷的物体.当一个带电体本身的线度比所研究的问题中涉及的距离小很多时,该带电体的形状对所讨论的问题没有影响或其影响可以忽略,该带电体就可以看作一个带电的点,即点电荷.点电荷是一个具有相对意义的概念,本身不一定是很小的带电体.

7.1.2 电荷守恒定律

对于一个系统,如果没有净电荷出入其边界,则该系统的正、负电荷的电量的代数和将保持不变,称之为电荷守恒定律.

现代物理学的很多实验都证明了电荷守恒定律.例如,一个高能光子与一个重原子核作用时,该光子可以转化为一个正电子和一个负电子(电子对的“产生”);而一个正电子和一个负电子在一定条件下相遇,又会同时消失而产生两个或三个光子(电子对的“湮灭”).在已观察到的各种过程中,正、负电荷总是成对出现或成对消失.由于光子不带电,正、负电子又各带有等量异号电荷,所以这种电荷的产生和消失并不改变系统中的电荷数的代数和,因而电荷守恒定律仍然有效.

实验证明,一个电荷的电量与它的运动状态无关.在不同的参考系内观察,同一带电粒子

的电量不变. 电荷的这一性质说明电荷具有相对论不变性.

7.1.3 库仑定律

在发现电现象后的两千多年的长时期内, 人们对电的认识一直停留在定性阶段. 从 18 世纪中叶开始, 不少人着手研究电荷之间作用力的定量规律, 研究静止电荷之间的相互作用力的理论叫静电学. 1785 年, 法国科学家库仑通过实验总结出如下规律, 即库仑定律:

在真空中, 两个静止的点电荷之间的相互作用力的大小与它们电荷电量的乘积成正比, 与它们之间距离的平方成反比, 作用力的方向沿着两点电荷的连线, 同号电荷相互排斥, 异号电荷相互吸引.

库仑定律是静电学的基础, 其矢量公式表示为

$$\mathbf{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \mathbf{e}_{r21} \quad (7-1)$$

式中 $\mathbf{F}_{21}$ 表示电荷 q_2 受电荷 q_1 的作用力, q_1 和 q_2 分别表示两个点电荷的电量, r_{21} 表示两个点电荷之间的距离, $\mathbf{e}_{r21}$ 表示从电荷 q_1 指向电荷 q_2 的单位矢量; k 为比例常数, 依公式中各量所选取的单位而定.

若两个点电荷 q_1 和 q_2 同号, $\mathbf{F}_{21}$ 与 $\mathbf{e}_{r21}$ 同方向, 电荷 q_2 受电荷 q_1 的斥力, 如图 7-1(a); 若两个点电荷 q_1 和 q_2 异号, $\mathbf{F}_{21}$ 与 $\mathbf{e}_{r21}$ 方向相反, 电荷 q_2 受电荷 q_1 的引力, 如图 7-1(b). 易分析

$$\mathbf{F}_{21} = -\mathbf{F}_{12}$$

可以看出, 两个静止的点电荷之间的作用力符合牛顿第三定律, 即作用力与反作用力大小相等方向相反.

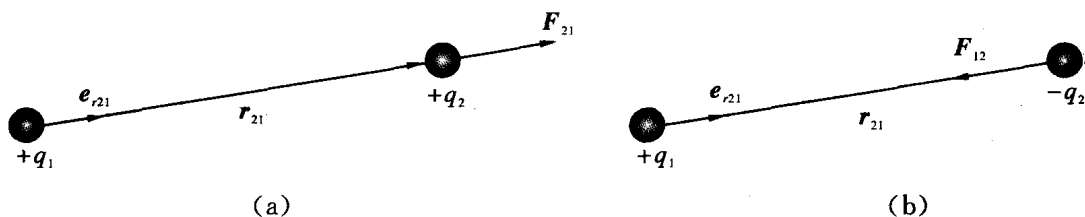


图 7-1 电荷的相互作用

在国际单位制中, 距离 r 用 m 作单位, 力 F 用 N 作单位, 实验测定比例常数的数值和单位为

$$k = 8.9880 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \approx 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

通常还引入另一常量 ϵ_0 来代替 k , 使

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

于是, 库仑定律的数学表达式(7-1)可以改写为

$$\mathbf{F}_{21} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{21}^2} \mathbf{e}_{r21} \quad (7-2)$$

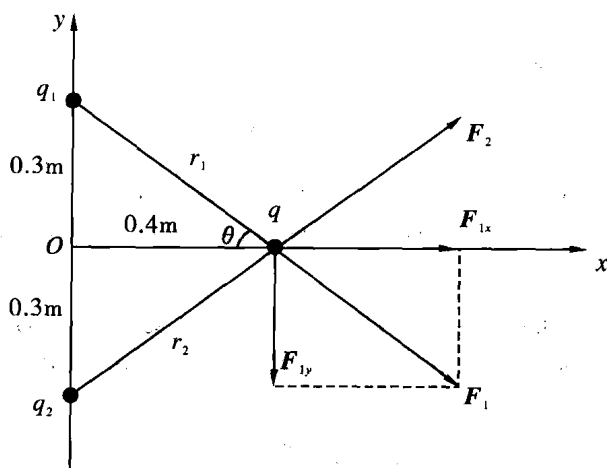
这里引入的 ϵ_0 叫作真空介电常量(或真空电容率), 在国际单位制中它的数值和单位为

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

在库仑定律表示式中引入“ 4π ”因子的作法,称为单位制的有理化.这样做的结果虽然使库仑定律的形式变得复杂些,但是却使以后经常用到的电磁学规律的表示式因不出现“ 4π ”因子而变得简单些.

实验证明,当真空中有两个以上的点电荷时,作用在某一点电荷上的总静电力等于其他各点电荷单独存在时对该点电荷所施静电力的矢量和,这一结论叫作静电力的叠加原理.

【例 7-1】 三个点电荷 q_1 、 q_2 和 q 所处的位置如图例 7-1 所示,它们所带的电量分别为 $q_1 = q_2 = 2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$, $q = 4.0 \times 10^{-6} \text{ C}$. 求 q_1 和 q_2 对 q 的作用力.



图例 7-1

解:

首先利用库仑定律分别计算出 q_1 对 q 的作用力 F_1 和 q_2 对 q 的作用力 F_2 ,然后再求出这两个作用力的合力.

q_1 对 q 的作用力 F_1 的大小为

$$F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q}{r_1^2} = 8.99 \times 10^9 \times \frac{2.0 \times 10^{-6} \times 4.0 \times 10^{-6}}{0.3^2 + 0.4^2} = 0.29 \text{ N}$$

F_1 沿 x 轴和 y 轴的两个分量分别为

$$F_{1x} = F_1 \cos\theta = 0.29 \times \frac{0.4}{0.5} = 0.23 \text{ N}$$

$$F_{1y} = -F_1 \sin\theta = -0.29 \times \frac{0.3}{0.5} = -0.17 \text{ N}$$

同样可以求出 q_2 对 q 的作用力 F_2 . F_2 的方向如图所示, F_2 的大小也为 0.29 N. F_2 的两个分量分别为

$$F_{2x} = F_2 \cos\theta = 0.23 \text{ N}$$

$$F_{2y} = F_2 \sin\theta = 0.17 \text{ N}$$

显然,由于 F_1 和 F_2 的 y 分量大小相等、方向相反,因而互相抵消. q 所受 q_1 和 q_2 对它的作用力的合力 F ,方向沿 x 轴正方向,大小为

$$F = F_{1x} + F_{2x} = 0.23 + 0.23 = 0.46 \text{ N}$$

思考题 7.1

1. 一个金属球带上正电荷后,该球的质量会增大、减小还是不变?
2. 点电荷是否一定是很小的带电体? 什么样的带电体可以看作点电荷?
3. 在干燥的冬季脱毛衣时,常听见噼里啪啦的声音,试解释这一现象.

7.2 电场与电场强度

7.2.1 电场

一个物体对另一个物体的作用力,若不是通过直接接触来传递,就是借助于它们之间的其他物质来传递.如同万有引力是通过在物体周围空间存在的引力场这种特殊物质来传递一样,在电荷周围空间也存在一种特殊物质,借以传递电荷之间的相互作用力.这种特殊物质就是电场.当物体带电时,在它的周围就产生电场.如果电荷相对于观察者是静止的,那么它在其周围产生的电场就是静电场.本章所讨论的电场都属于静电场.电场有一种重要属性,就是任何一个进入其中的电荷都将受到由该电场传递的力的作用,这种力叫电场力,由静电场传递的力叫静电力.

电荷之间的相互作用可归结为:电荷激发电场,电场对处于其中的其它电荷施以电场力的作用.

7.2.2 电场强度

在静止电荷周围存在着静电场,静电场遍布静止电荷周围的全部空间.电场对处于其中的电荷施以作用力.

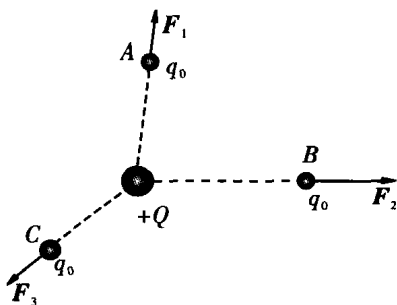


图 7-2 电场强度