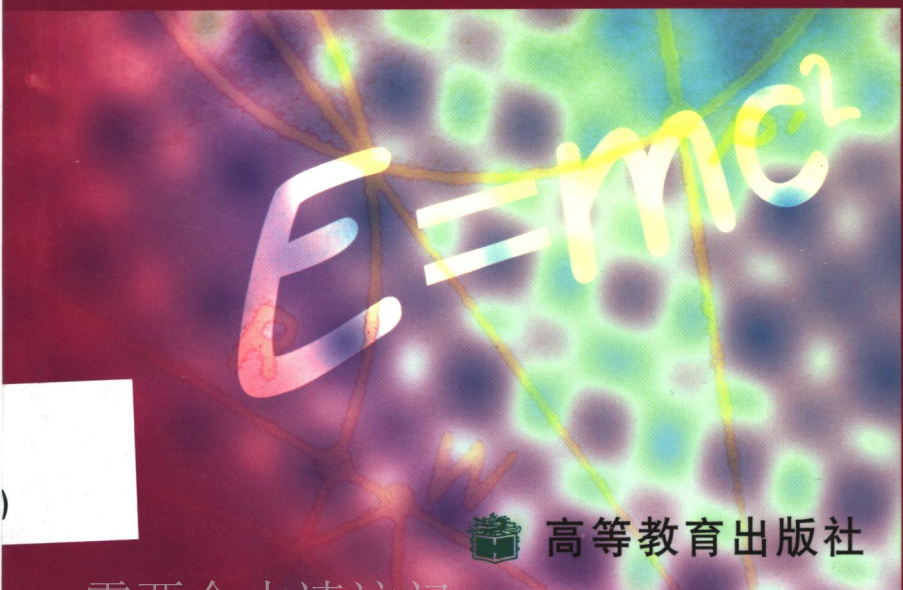
PHYSICS

高等学校教材

物理学基本教程

第二册 第二版

张达宋 主编



高等教育出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

64

高等学校教材

物理学基本教程

第二册　第二版

张达宋　主编
张达宋　李行一　等修订

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理学基本教程.第二册/张达宋主编.—2版.—北京:高等教育出版社,2002.7
ISBN 7-04-010675-2

Ⅰ.物… Ⅱ.张… Ⅲ.物理学-高等学校-教材 Ⅳ.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第098087号

责任编辑 董洪光 **封面设计** 王凌波 **责任绘图** 尹 莉
版式设计 马静如 **责任校对** 俞声佳 **责任印制** 韩 刚

物理学基本教程 第二册 第二版
张达宋 主编

出版发行	高等教育出版社	**购书热线**	010-64054588
社 址	北京市东城区沙滩后街55号	**免费咨询**	800-810-0598
邮政编码	100009	**网 址**	http://www.hep.edu.cn
传 真	010-64014048		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
排 版	高等教育出版社照排中心		
印 刷	高等教育出版社印刷厂		
开 本	850×1168 1/32	**版 次**	1989年6月第1版
印 张	9.125		2002年7月第2版
字 数	220 000	**印 次**	2002年7月第1次印刷
		定 价	12.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换.

版权所有 侵权必究

第二版前言

本书这次修订是按照原国家教育委员会高等学校工科基础课程教材建设的“八五”和“九五”规划进行的，依据《高等学校工科本科大学物理课程教学基本要求》(1995年修订版)和1992年12月全国工科物理教材修订会议为本书确定的“打好基础、精选内容、适当更新、利于教学”的修订工作指导思想，对全书进行了认真的修改和补充.在保持第一版原有体系、风格和特色不变，总体水平相当和篇幅不扩大的前提下，主要作了如下的一些修改和增删：

1. 根据全国自然科学名词审定委员会公布的《物理学名词(1996)》，统一规范了全书的物理学名词.

2. 为了跟上社会发展和科技进步的时代步伐，按照新的《基本要求》，补充了现代工程技术的物理基础专题，以及一些物理学前沿和现代技术应用的“窗口”、“接口”.

3. 订正了第一版中的文字和印刷错误，修改了一些过时的数据，删除了一些陈旧或不适当的内容.

4. 为了便于教学，对少数内容作了调整和更新.

5. 根据目前大多数学校的教学情况，对例题、思考题和习题作了较多的修改与替换，增加了一些切合实际和现代科技发展的题目.

作为本书修订版的审稿人，广东工业大学钟韶教授(主审)、西安交通大学吴百诗教授和西安建筑科技大学张明德教授对原书提出了十分详尽具体的修改意见，在整个修改过程中对每一段修改稿都逐字逐句仔细审阅，给予了中肯贴切的意见和建议，为修订工作的顺利完成起到了指导和促进作用.

山东大学、武汉理工大学、北京工业大学和武汉食品工业学院等院校的教师对修订工作提出了许多宝贵的意见，使编者获益匪浅，谨在此表示深深的谢意.

吴光敏、贾惠凯、王安安、于永香、伏云昌和董勋德同志参加了本书的修订工作.

限于编者的水平和知识面，这个修订版仍会存在诸多欠缺和不足，恳请读者提出宝贵的意见.

张达宋　李行一

2001 年 3 月于

昆明理工大学

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第一版前言

本书初稿是根据1980年原教育部颁布的《高等工业学校普通物理教学大纲》的基本要求(不打＊号的内容)结合编者的教学经验并借鉴国内外部分教材而编写的,1984年通过评选,随即按照评审意见对原稿作了修改、试用,以后又根据1986年西安审稿会所提意见及1987年国家教委颁布的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》作了进一步的修改和补充,经复审后于1987年9月定稿.

本书编写的指导思想是:1°要便于教师教和学生学,要符合人的认识过程,既与高中物理衔接,又避免不必要的重复,起点不要太高,但又必须达到国家教委颁布的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》(以下简称基本要求).2°由于本课程内容多学时少,教材既要编写得紧凑,又要把问题阐述清楚,使之便于教学.3°概念的讲述要清楚,推理论证要严谨,要有逻辑性和系统性.

本书除打＊号部分外,绝大部分内容都是属于《基本要求》的范围,可根据专业的需要选用.本书参考总学时为130～140学时,各部分内容基本上按照《基本要求》的先后次序安排的,只是牛顿力学的相对性原理放在"狭义相对论基础"一章的开头.本书采用国际单位制,各物理量名称及有关单位的名称均采用国家标准规定的名称.

参加本书编写工作的有李行一、袁长寿、王安安、陈大德、刘坤、王文楷、于永香、董勋德、贾惠凯及张平等同志.

本书审稿人有哈尔滨工业大学洪晶同志(主审)、天津大学杨仲耆同志、华南工学院周勇志同志、华东工学院方光耀同志及上海

交通大学胡盘新同志等.他们对本书原稿进行了详细审阅并提出宝贵意见和具体建议,对本书的修改工作帮助很大,在此表示衷心感谢.

南京空军气象学院、成都地质学院、广东工学院及华东工学院等院校的同志对本书原稿提出许多宝贵意见和建议,云南大学李德修教授对本书"固体能带理论基础"一章提出了宝贵和具体的修改意见,使编者深受教益,在此一并表示感谢.

由于本书的编写及修改工作量很大而时间又十分仓促,更主要的是由于编者的水平有限,本书缺点错误一定不少,衷心希望使用本书的同志多多提出宝贵意见.

编者

目　录

第三篇　电场和磁场

第八章　真空中的静电场 …… (2)

§ 8－1　电荷　库仑定律 …… (2)

§ 8－2　电场　电场强度 …… (6)

§ 8－3　电场线　电场强度通量 …… (17)

§ 8－4　高斯定理 …… (22)

§ 8－5　静电场力的功　电势 …… (30)

§ 8－6　等势面　电场强度与电势的关系 …… (39)

§ 8－7　带电粒子在外电场中受到的力及其运动 …… (45)

思考题 …… (48)

习题 …… (50)

第九章　静电场中的导体和电介质 …… (57)

§ 9－1　静电场中的导体 …… (57)

§ 9－2　电容器　电容器的并联和串联 …… (65)

§ 9－3　电介质的极化 …… (73)

§ 9－4　电介质中的电场　有电介质时的高斯定理　电位移 … (77)

§ 9－5　电场的能量 …… (87)

思考题 …… (90)

习题 …… (93)

第十章　电流与电场 …… (101)

§ 10－1　电流　电流密度 …… (101)

* § 10－2　一段均匀电路的欧姆定律及其微分形式 …… (104)

* § 10－3　金属导电的经典电子论的基本概念 …… (108)

* § 10－4　电流的功和功率 …… (111)

§ 10－5　电源　电动势 …… (113)
§ 10－6　闭合电路和一段不均匀电路的欧姆定律 …… (116)
§ 10－7　电子的逸出功 …… (120)
§ 10－8　温差电现象 …… (122)
思考题 …… (127)
习题 …… (128)
第十一章　真空中恒定电流的磁场 …… (132)
§ 11－1　基本磁现象　安培假说 …… (132)
§ 11－2　磁场　磁感强度　磁感线　磁通量 …… (136)
§ 11－3　毕奥－萨伐尔定律 …… (141)
§ 11－4　运动电荷的磁场 …… (148)
§ 11－5　安培环路定理 …… (150)
§ 11－6　带电粒子在外磁场中受到的力及其运动 …… (157)
§ 11－7　霍耳效应 …… (162)
§ 11－8　磁场对载流导线的作用 …… (165)
§ 11－9　磁场对载流线圈的作用 …… (168)
§ 11－10　电流强度的单位——安培的定义 …… (173)
思考题 …… (175)
习题 …… (177)
第十二章　磁介质中的磁场 …… (186)
§ 12－1　磁介质的磁化　磁导率 …… (186)
§ 12－2　磁介质中的磁场　有磁介质时的安培环路定理
磁场强度 …… (191)
§ 12－3　铁磁质 …… (195)
思考题 …… (202)
习题 …… (203)
第十三章　电磁感应 …… (205)
§ 13－1　法拉第电磁感应定律 …… (205)
§ 13－2　动生电动势和感生电动势 …… (210)
§ 13－3　自感现象与互感现象 …… (220)
§ 13－4　磁场的能量 …… (226)

思考题 …… (228)
习题 …… (232)
第十四章　电磁场理论的基本概念 …… (240)
§ 14－1　位移电流　全电流定理 …… (240)
§ 14－2　麦克斯韦方程组的积分形式 …… (245)
思考题 …… (248)
习题 …… (249)
专题 1　超导物理简介 …… (252)
习题答案 …… (267)
附录Ⅰ　常用物理基本常量表 …… (278)
附录Ⅱ　国际单位制中的电学量和磁学量及其单位…… (279)

第三篇　电场和磁场

电磁学讨论电场和磁场、电磁场与物质的相互作用以及电场和磁场的相互联系等规律及其应用.本篇主要介绍电磁学的基本原理、基本定律及有关的基本概念.

虽然人类很早就已经了解天然磁石可以吸引铁器,经摩擦后的琥珀能够吸引轻小物体,但是在很长的时期内都仅仅停留在对电现象和磁现象的观察上.到了18世纪,卡文迪许和库仑等开创了用近代的科学方法对电磁现象的研究.1820年奥斯特在实验中发现电流对罗盘磁针指向产生的影响,从而建立了电学和磁学之间的联系.在法拉第引入场的观念和场线的图像之后,1862年,麦克斯韦将先前物理学家们发现的电磁学规律提升归结为一个统一而完整的理论,建立了麦克斯韦电磁学方程组.正是在这个完美的理论基础之上,才出现了现代社会生产和生活中无处不见的各种电磁与光学设备和器件.例如电动机与发电机、无线电发射与接收装置、电子通讯与光通讯设备、激光与雷达、射电天文望远镜、电子计算机以及回旋加速器等等.

本篇包括真空中的静电场、静电场中的导体和电介质、电流和电场、真空中恒定电流的磁场、磁介质中的磁场、电磁感应及电磁场理论的基本概念等七章.

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第八章　真空中的静电场

相对于观察者为静止的电荷所产生的电场称为静电场.本章讨论真空中的静电场,下一章讨论有介质时的静电场.为了描述电场的性质,本章将介绍用以描写电场性质的两个物理量:电场强度及电势.还要介绍反映电场性质的一些基本定理:高斯定理及静电场环路定理等.

§8-1　电荷　库仑定律

一、电荷

人们对电的认识最初来源于摩擦起电,不同质料的两个物体,例如丝绸和玻璃棒,互相摩擦过后都能吸引轻小的物体,如纸屑等.物体被摩擦过后具有吸引轻物的性质时,我们就说它带了电或有了电荷.带了电的物体称为**带电体**,有时小的带电体也简称为**电荷**.

大量实验证明电荷只有两种.一种叫做**正电荷**,另一种叫做**负电荷**.用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷是正电荷,用毛皮摩擦过的胶木棒所带的电荷是负电荷.同号电荷相斥,异号电荷相吸.

中学物理已经讲过摩擦起电的机理.物体在正常状态下,它内部的正电荷和负电荷量值相等,对外不显示带电,即呈电中性.用毛皮摩擦过的胶木棒带负电是由于摩擦时毛皮与胶木棒紧密接触,毛皮中有一部分电子转移到胶木棒上,结果胶木棒因获得电子而带负电,毛皮因失去电子而带等量的正电.

一般地说，使物体带电就是使它获得多余的电子或从它取出一些电子．获得多余电子的物体带负电，从其中取出电子的物体带正电．

根据带电体之间的相互作用力，我们能够确定物体所带电荷的多少，表示物体所带电荷多少的物理量称为**电荷量**（或**电荷**），通常用 Q 或 q 表示．正电荷的电荷量用正值表示，负电荷的电荷量用负值表示．电荷量的国际单位为库仑，简称为库，符号为 C．例如质子带的电荷量为 1.602×10^{-19} C，电子带的电荷量为 -1.602×10^{-19} C．

实验证明：当有一种电荷出现时，必然有等量的异号电荷同时出现；当有一种电荷消失时，必然有等量的异号电荷同时消失．例如在摩擦起电的过程中或 γ 射线穿过铅板产生正、负电子对时，都有等量的正、负电荷同时出现，当正、负电子对复合成 γ 光子时，等量的正、负电荷同时消失．因此，在一个与外界没有电荷交换的系统内，不论发生什么样的过程，系统内一切正、负电荷的代数和总是保持不变，这就是**电荷守恒定律**．它是物理学的基本定律之一．

到目前为止的所有实验表明，一切带电体包括微观粒子所带电荷量 q 都是某一元电荷的整数倍，这个元电荷是 1.602×10^{-19} C，以 e 表示，$q=\pm ne$，这就是说一个物体所带的电荷不能连续地变化，只能取分立的不连续的值，这称为**电荷的量子化**．但由于元电荷 e 很小，在宏观现象中遇到的电荷量比 e 大得很多，在一般情况下，电荷的量子性表现不出来．在讨论宏观电荷时可不考虑电荷的量子性，而把它作为连续分布来处理．

二、真空中的库仑定律

库仑定律是关于两个点电荷相互作用的定律．我们首先介绍点电荷概念．两个带电体之间的相互作用力不仅与它们所带电荷量的多少以及它们间的距离有关，而且还与它们的形状和大小以

及电荷量分布情况有关;但当每一带电体的线度(即带电体上每两点间的距离的最大值)与它们间的距离相较甚小时,它们的形状和大小以及电荷量分布情况对它们相互作用力的影响可以忽略不计.满足这个条件的带电体称为点电荷.两个带电体能否被看作点电荷不仅与它们本身的大小有关,而且还与它们间的距离有关.例如有两个带电小球,直径各为 10 cm,当球心的距离为 100 m 时,可以充分精确地被看作是点电荷,当球心的距离为 15 cm 时,如果再把它们当作点电荷就会引起很大误差.当带电体可以看作点电荷时,可用几何点来标记它的位置.两个带电体之间的距离就是标记它们的位置的几何点之间的距离.

库仑定律是 1785 年法国科学家库仑通过扭秤实验确定的,它构成全部静电学的基础.这条定律是:"在真空中两个点电荷之间的相互作用力的大小 F_{12} 与它们的电荷量 q_1、q_2 的乘积成正比,与它们间的距离 r_{12} 的平方成反比,作用力的方向沿着它们连线的方向,同号电荷相斥,异号电荷相吸."即

$$F_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \tag{8-1}$$

其中 k 为比例系数,k 的数值和单位由式中各量的单位决定.在国际单位制中,电学量和磁学量的单位采用有理化米·千克·秒·安培(M·K·S·A)制,有理化 MKSA 制有四个基本量,即长度、质量、时间和电流,其中长度、质量和时间的单位分别为 m、kg 和 s.电流的单位是安培(安培的定义见 § 11 - 10).电荷量是导出量,它的单位库仑是导出单位,1 库仑的电荷量就是当导线中的电流为 1 安培时在 1 秒内流过导线的一个横截面的电荷量.这样,在(8 - 1)式中各个量的单位都确定了,F 的单位是 N,q 的单位是 C、r 的单位是 m,比例系数 k 就可以由实验测定,根据测定的结果,

$$k = 8.987\ 55 \times 10^9\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2} \approx 9 \times 10^9\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2}$$

在国际单位制中通常用新的恒量 ε_0 代替 k,两者的关系为

$$k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \tag{8-2}$$

ε_0 称为真空的**电容率**.

$$\varepsilon_0=\frac{1}{4\pi k}=8.854\ 2\times10^{-12}\ \mathrm{C^2/(N\cdot m^2)} \tag{8-3}$$

将(8-2)式代入(8-1)式得

$$F_{12}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r_{12}^2} \tag{8-4}$$

令 $\boldsymbol{F}_{12}$ 表示电荷 q_1 作用于电荷 q_2 的力，$\boldsymbol{r}_{12}$ 表示由 q_1 到 q_2 的径矢，则 $\boldsymbol{F}_{12}$ 可写为

$$\boldsymbol{F}_{12}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r_{12}^2}\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r_{12}}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r_{12}^3}\boldsymbol{r}_{12} \tag{8-5}$$

其中 $\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r_{12}}$ 为由 q_1 到 q_2 的单位矢. 当 q_1、q_2 同号时，$q_1q_2>0$，$\boldsymbol{F}_{12}$ 与 $\boldsymbol{r}_{12}$ 同向，如图 8-1(a)，这表示 $\boldsymbol{F}_{12}$ 是斥力；当 q_1、q_2 异号时，$q_1q_2<0$，$\boldsymbol{F}_{12}$ 与 $\boldsymbol{r}_{12}$ 反向，如图 8-1(b)，这表示力 $\boldsymbol{F}_{12}$ 是引力.

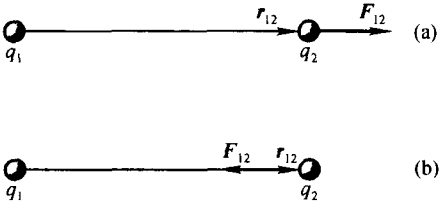


图 8-1

设在国际单位制中基本量长度、质量、时间和电流的量纲分别用 L、M、T、I 表示，则由 $q=It$ 得知电荷量的量纲为 IT，由(8-4)式得知恒量 ε_0 的量纲为 $\mathrm{I^2L^{-3}M^{-1}T^4}$.

§8-2 电场 电场强度

一、电场及其最重要的表现

两个电荷间的相互作用是怎样进行的呢？关于这个问题历史上曾经有过两种不同的观点：一种观点认为这种作用是一个电荷超越空间直接施于另一电荷的，这种作用的传递既不需要中间物质，也不需要时间，这种观点叫做**超距作用观点**；另一种观点认为这种作用是通过它们的电场来进行的，一个电荷的周围存在着电场，电荷 q_1 施于 q_2 的力是通过 q_1 的电场作用到 q_2 上的(图 8-2)，q_2 施于 q_1 的力是通过 q_2 的电场作用到 q_1 上的，因此，电荷间的相互作用力叫做**电场力**.



图 8-2

究竟哪一种观点是正确的呢？对于两个静止的电荷来说，无法判断哪一种观点是正确的.但在发现电磁波以后，超距作用观点便站不住脚了.当两个电荷中的一个(例如 q_1)作加速运动时，它就要辐射电磁波，电磁波就是变化的电场和变化的磁场在空间的传播过程.它是以一定速度——光速传播的，因此 q_1 由于作加速运动而产生的变化的电磁场传到 q_2 处是需要时间的.即是说，q_1 对 q_2 的作用的传播是需要时间的.例如 q_1 从位置 A 忽然移到位置 B 时，由于它在 q_2 处的电磁场不是立刻发生变化，所以它对 q_2 的作用力不是立刻发生变化，而是要经过一段时间以后才发生变化.但按照超距作用观点，两个电荷的相互作用不需要时间来传递，完全取决于它们的瞬时位置，当 q_1 从位置 A 忽然移到位置 B

时，它对 q_2 的作用力立刻发生变化，这与电磁波观点相违背，因而是错误的．而且，电磁场可以脱离电荷和电流而存在，它和实物一样具有能量和动量，这说明电场和磁场是一种特殊形态的物质．总起来讲，电荷的周围存在着电场，电场是一种特殊形态的物质．

相对于观察者为静止的电荷所产生的电场称为**静电场**，静电场最重要的表现有：

(1) 力的表现，即放入电场中的电荷要受到电场的作用力．

(2) 功的表现，即当电荷在电场中移动时，电场对它的作用力就要对它作功．

静电场的这些表现是我们研究静电场性质的基础．下面将根据这些表现，从不同角度来研究电场的性质．

二、电场强度

本节将从静电场的力的表现出发，利用试验电荷引入电场强度概念来描写电场的性质．所谓试验电荷必须符合下列两点要求：(1) 它所带电荷量必须很小，当引入电场中时，在实验精度范围内，它自己产生的电场不会对原有电场有任何显著的影响；(2) 它的线度必须很小，即可以把它看作是点电荷，当引入电场中时，它的位置可用一几何点来标记．

把试验电荷 q_0 放在电场中不同地点上，一般地说，它所受的力的大小和方向是逐点不同的[图 8－3(a)]．但在电场中每一给定点处，q_0 所受的力的大小和方向却是一定的．如果在电场中给定点 P 处放置不同电荷量的试验电荷，我们发现它们所受的力不相同，但总是与试验电荷的电荷量成比例．即如果依次把电荷 q_0，$2q_0$，$3q_0$，…放在同一点 P 处，则它们受到的电场力将分别为 $\boldsymbol{F}$，$2\boldsymbol{F}$，$3\boldsymbol{F}$，…[图 8－3(b)、(c)、(d)]．所以试验电荷所受的力与其电荷量的比值 $\dfrac{\boldsymbol{F}}{q_0}=\dfrac{2\boldsymbol{F}}{2q_0}=\dfrac{3\boldsymbol{F}}{3q_0}=\cdots=$ 确定矢量．这比值与试验电荷无

需要全本请访问 www.ertongbook.com