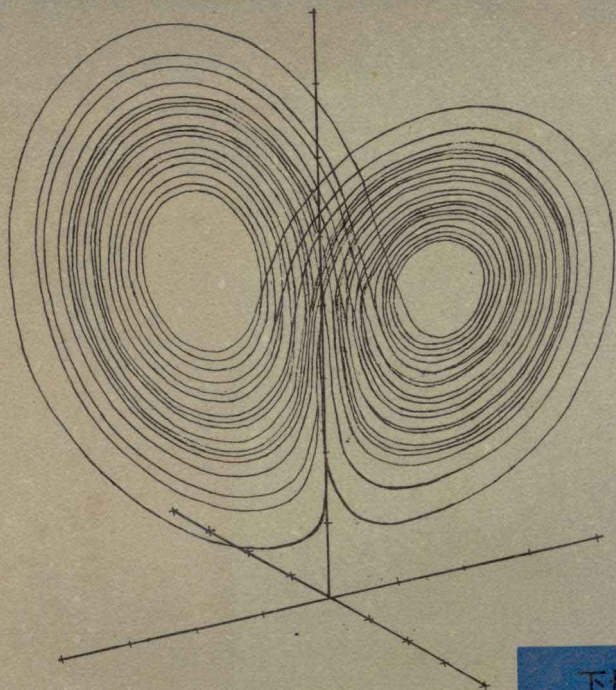


物理学导论

An Introduction to Physics

Second

Edition



主 编 陈 宏 贲
周 浩 祥

下册 第二版

河海大学出版社

Hohai University Press

物理学导论

下 册
(第二版)

陈宏贵 周浩祥 主编

梁昆淼 主审

蒋澄华 李 瑾 编
印友法 徐 援

河海大学出版社

内 容 提 要

本书是为工科和理科非物理专业的大学生编写的一本物理教材。它除了包括传统的基础物理内容以外,尝试把物理学发展的前沿引入物理教学,企求扩大学生的知识面,让他们了解物理学的进展,以加强学生思维能力的培养,提高学生的物理素质。

本书分上、下两册出版。上册包括力学,振动、波动和波动光学,热学;下册包括电磁学、近代物理。

本书亦可供师专物理专业的学生和中学物理教师作参考。

物 理 学 导 论

下册(第二版)

* * *

主 编:陈宏贲 周浩祥

责任编辑:高黛兰

特邀编辑:范 楠

出版发行:河海大学出版社

印 刷:南农大技术服务公司印刷厂

开本 787×1092 1/32 印张 22 字数 444 千字

1994 年 10 月第 2 版 1994 年 10 月第 1 次印刷

印数 1——6000 册

ISBN 7—5630—0234—0/O · 28

定价:17.50 元

第二版前言

《物理学导论》自 1991 年出版以来,受到读者广泛的欢迎与支持,已向海内外 80 所院校发行与交流,这对我们是很大的鼓舞与鞭策。

由于第一版书已告罄,为满足广大读者需要,决定修订再版。

《物理学导论》第二版作了如下的改动:

1. 进一步体现把物理学发展前沿引进物理教学。在上册中增加了第十一章非线性物理学;在下册的近代物理学中增加了 § 17.7 C_{60} (碳 60) 分子及其特性和 § 18.8 介观物理学。

2. 适当删去非基本要求的内容。原十二章电流删去,把其中基本部分如电动势的概念等并入其他章节。并把原第十四章电磁感应和原第十五章电磁场与电磁波合并为新的第十四章电磁场。

3. 对习题作了适当的增删,注意联系实际、灵活应用和扩大知识面。

在修改过程中,河海大学物理教研室的广大教师提出了许多宝贵的意见,我们表示衷心的感谢。

我们要感谢河海大学出版社的查一民、王长远、高黛兰同志,他们为再版出书作出了很大贡献。

感谢胡治平、张明等同志完成了本书的排版、改版工作。

编 者

1994 年 7 月 24 日

前 言

物理学导论是在编者多年从事基础物理教学基础上编写成的。我们的基本想法是：

一、在确保国家教委工科大学物理课程指导委员会制订的基本要求的基础上，把物理学发展的前沿，引入物理教学。

二、尽量避免与中学物理内容的重复，适当提高教学要求的起点。

三、考虑到学生在学习物理学时，找合适参考书的困难，我们选编了一些阅读材料，供学生自学或教师作专题讲座时参考，以扩大学生的知识面，并引起学生学习物理学的兴趣。

四、为了便于物理作两学期的教学安排，物理学导论分上、下两册。上册包括力学，振动、波动和波动光学，热学三篇，供物理第一学期选用；下册包括电磁学和近代物理学两篇，供物理第二学期选用。这样安排的主要目的是为确保电磁学在一学期内学完，以免分隔在两学期而缺乏连贯性。

五、本教材适合于工科大学的物理教学，也适合于理科非物理专业的学生选用。

六、凡属于工科大学物理基本要求以外的内容，我们一般都以小字排印，这样做的目的是为了便于教学。应该指出，我们并不认为小字排印的内容都是次要的。

七、本书使用的物理学名词，系按照 1988 年全国自然科

学名词审定委员公布的物理学名词为准。

本书第一至三章及十六章由李瑾执笔，第四至八章由蒋澄华执笔，第九、十章由印友法执笔，第十一至十三章由周浩祥执笔，第十四、十五章由徐援执笔，第十七至廿一章由陈宏贵执笔。朱卫华同志选编了第十七至廿一章的习题与思考题。陈宏贵、周浩祥负责统稿。

编写此教材过程中，得到河海大学物理教研室许多同志的关心和支持，为此向他们表示感谢。

南京大学物理系梁昆森教授非常细心地审阅了全书，提出了许多非常宝贵的意见，我们表示衷心的感谢。

本书得到河海大学出版社的何定达同志、高黛兰同志的大力支持，没有他们的帮助，本书是不可能同读者见面的，在此我们向他们表示由衷的感谢。

编 者

1991 年元旦

目 录

第四篇 电磁学

第十二章 电场	(3)
§ 12.1 电荷 库仑定律	(3)
§ 12.2 静电场 电场强度	(7)
§ 12.3 高斯定理	(19)
§ 12.4 电 势	(32)
§ 12.5 等势面 电势梯度	(43)
§ 12.6 静电场中的导体	(47)
§ 12.7 静电场中的电介质	(60)
§ 12.8 电 容	(75)
§ 12.9 电场的能量	(82)
§ 12.10 静电现象及应用	(92)
§ 12.11 导体中的恒定电场	(97)
思考题	(105)
习 题	(111)
第十三章 磁场	(126)
§ 13.1 磁场 磁感应强度	(126)
§ 13.2 毕奥——萨伐尔定律	(130)

§ 13.3	磁场的高斯定理和安培环路定理·····	(144)
§ 13.4	带电粒子在磁场中的运动·····	(158)
§ 13.5	磁场对载流导线的作用·····	(174)
§ 13.6	磁介质中的磁场·····	(189)
§ 13.7	简单磁路·····	(207)
思考题	·····	(211)
习 题	·····	(216)
第十四章	电磁场 ·····	(231)
§ 14.1	电源电动势·····	(232)
§ 14.2	电磁感应的基本规律·····	(235)
§ 14.3	动生电动势·····	(243)
§ 14.4	涡旋电场 感生电动势·····	(252)
§ 14.5	自感应和互感应·····	(263)
§ 14.6	磁场的能量·····	(271)
§ 14.7	位移电流·····	(275)
§ 14.8	麦克斯韦方程组·····	(281)
§ 14.9	电磁振荡 赫兹实验·····	(286)
§ 14.10	电磁波 ·····	(293)
§ 14.11	加速电荷的电磁场 ·····	(303)
§ 14.12	同步加速辐射 ·····	(311)
思考题	·····	(314)
习 题	·····	(319)

第五篇 近代物理学

第十五章	相对论基础 ·····	(332)
-------------	--------------------	-------

§ 15.1	伽利略变换 绝对时空观.....	(332)
§ 15.2	狭义相对论的历史背景和实验基础.....	(336)
§ 15.3	狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换	(341)
§ 15.4	狭义相对论的时空观.....	(348)
§ 15.5	双生子佯谬.....	(357)
§ 15.6	高速运动物体的观察效应.....	(360)
§ 15.7	相对论力学基础.....	(362)
§ 15.8	相对论与电磁场.....	(371)
§ 15.9	广义相对论简介.....	(374)
	思考题.....	(380)
	习 题.....	(381)
第十六章	量子力学基础.....	(388)
§ 16.1	普朗克的能量子.....	(388)
§ 16.2	爱因斯坦的光子.....	(398)
§ 16.3	康普顿的光子.....	(403)
§ 16.4	玻尔原子与光子.....	(407)
§ 16.5	电子的波动性.....	(414)
§ 16.6	微观粒子具有波性的意义.....	(420)
§ 16.7	不确定关系.....	(424)
§ 16.8	薛定谔方程.....	(431)
§ 16.9	微观粒子处在束缚态时的特性.....	(435)
§ 16.10	隧道效应	(444)
§ 16.11	量子力学中的算符	(451)
§ 16.12	量子跃迁	(454)
	思考题.....	(456)

习 题	(457)
第十七章 原子与分子	(463)
§ 17.1 氢原子	(463)
§ 17.2 电子的自旋	(471)
§ 17.3 泡利原理与元素周期表	(479)
§ 17.4 分子的键结合	(484)
§ 17.5 分子光谱	(489)
§ 17.6 微波激射与激光	(493)
§ 17.7 C_{60} (碳 60) 分子及其特性	(499)
思考题	(503)
习 题	(503)
第十八章 凝聚态	(506)
§ 18.1 固体的结构	(507)
§ 18.2 金属的自由电子理论	(510)
§ 18.3 金属的热容量 电导率和热导率	(518)
§ 18.4 固体能带理论	(523)
§ 18.5 导体 绝缘体和半导体	(528)
§ 18.6 超导电性	(533)
§ 18.7 宏观量子化现象	(540)
§ 18.8 介观物理学	(551)
§ 18.9 分子生物学与量子生物学	(558)
思考题	(562)
习 题	(562)
第十九章 原子核	(564)
§ 19.1 原子核的基本性质	(565)
§ 19.2 核衰变与核反应	(568)

§ 19.3	原子核的壳层模型和集体模型·····	(572)
§ 19.4	穆斯堡尔效应·····	(577)
§ 19.5	核磁共振·····	(580)
§ 19.6	奇特原子·····	(584)
§ 19.7	正电子湮没技术·····	(587)
	思考题·····	(591)
	习 题·····	(592)
第二十章	粒子及其相互作用·····	(595)
§ 20.1	狄拉克电子·····	(596)
§ 20.2	电磁相互作用的微观理论·····	(600)
§ 20.3	微观世界中的对称性·····	(611)
§ 20.4	夸克和量子色动力学·····	(621)
§ 20.5	弱作用与电磁作用的统一理论·····	(630)
§ 20.6	粒子物理与宇宙学·····	(637)
	思考题·····	(648)
	习 题·····	(649)
	附录 A: 普适物理常数、有用组合常数、换算因子 ·····	(652)
	附录 B: 元素周期表·····	(656)
	习题答案·····	(658)

第四篇 电磁学

公元前 600 年，古希腊的塞利斯 (Thales) 记载了琥珀摩擦后能吸引草屑的现象，这是历史上对电现象的第一次文字记载。差不多同一时代，在我国的春秋战国时期，也已经知道琥珀摩擦后能吸引轻微物体的电现象，同时还知道天然磁石间相互吸引的磁现象，并发明了天然磁石制作的指南针。起初，人们认为电现象和磁现象是两种互不相关的自然现象。直到 1820 年，奥斯特 (H. C. Oersted) 发现了电流对磁针的作用，安培 (A. M. Ampere) 观察到磁铁对电流、电流与电流之间的相互作用以后，才开始认识到电与磁之间存在着密切的内在联系。1831 年，法拉第 (M. Faraday) 电磁感应现象的发现，树起了电磁学发展史上的重大里程碑。使人们从对电力、磁力的研究进入到对电场、磁场的研究，世界开始进入电气化时代。在前人的研究基础上，1865 年，麦克斯韦发展了场的概念，系统总结了电学和磁学研究的新成就，提出了电磁场理论，预言了电磁波的存在，并预言光也是一种电磁波。随着赫兹 (H. Hertz) 通过实验发现电磁波，并证实它的传播速度等于光速，1905 年爱因斯坦 (A. Einstein) 建立了狭义相对论，通过洛伦兹变换可以从电场得到磁场。至此，电与磁统一的电磁学，已发展成为经典物理学中相当完

善的一个分支，可以用来说明宏观领域内的各种电磁现象。

电和磁是物质存在的一种特殊形式，研究电磁现象及其规律，不仅加深对物质世界进一步的认识，还将对学习后继课程和参加社会主义建设，打下坚实的基础。

第十二章 电场

从本章开始，我们将着重对电场的性质进行研究，这种具有空间分布性质的研究对象，描述它性质的物理量不仅是空间的函数，也可以是时间的函数。在静电场中，电场强度和电势是描述电场性质的两个主要物理量，它们之间存在某种关系。在许多情况下，用电势描述电场比用电场强度描述电场更为方便。在本章中不仅要学习已知场源电荷分布计算空间场强和电势的分布情况，还要掌握静电场的两个基本定理——静电场的高斯定理和安培环路定理，掌握导体和电介质在电场中的特点和性质。本章还将简单介绍恒定电流场的性质，描述电流场性质的物理量——电流密度，以及恒定电流场与恒定电场的内在联系。这些内容以及研究方法，将贯穿于整个电磁学，对研究磁场也有很大帮助。所以学好本章将会给学好电磁学打下坚实的基础。

§ 12.1 电荷 库仑定律

一、电荷

电荷是实物粒子的一种性质。正如质量是描述实物粒子惯性或引力大小的性质一样，电荷描述了实物粒子的电性质。所不同的是实物粒子（无论是宏观物体还是微观粒子）都有

一定的质量，但带电的性质则可以不同，它可以不带电、带正电、或带负电。带同种电荷的实物粒子相斥，带异种电荷的实物粒子相吸。通常称带有某种电荷的物体为**带电体**。由于习惯上的原因，我们并不严格区分电荷与带电体这两个名词。如当一个带电体本身的线度，比起所研究的问题中涉及的距离小很多时，该带电体可看作为**点电荷**。

带电体所带电荷的多少称为**电量**，常用 Q 或 q 表示。在国际单位制中，它的单位为库仑，符号为 C 。

宏观带电体所带电荷类型，取决于组成带电体的微观粒子的电性质。电子具有负电荷电量，质子具有正电荷电量，中子电量为零。在大多数情况下，由于电子的转移，可以改变宏观带电体的带电类型和带电量的大小。

实验证明，目前在自然界中带电体所带电量总是一个基本单元电量的整数倍。这一基本单元电量就是一个电子具有电量的绝对值，通常以 e 表示。经测定

$$e = 1.602 \times 10^{-19} C$$
物体电性质的这一特点，称为**电荷的量子性**。历史上测出基本单元电量的最有名的实验，就是 1913 年密立根 (R. A. Millikan) 所做的油滴实验。

现在已经知道基本粒子所具有的电量也都是基本单元电量的整数倍，除了光子、中微子、中子等不带电以外，其它粒子只能具有 $\pm e$ 、 $\pm 2e$ 、 $\pm 3e$ 、……等电量，近代物理从理论上提出了质子、中子和介子等许多能参与强相互作用的基本粒子（强子），都是由若干种夸克或反夸克（我国物理学家也称它们为层子和反层子）组成，每一个夸克或反夸克具有

的电量为 $\pm \frac{e}{3}$ 或 $\pm \frac{2}{3}e$ 。现在这一理论已被绝大多数物理学家认可，也已得到了一些间接的实验验证。特别是本世纪六十年代末七十年代初，一些实验物理学家对电子与质子及束缚中子的深度非弹性散射实验，对夸克模型的发展起了重要的作用。为表彰这些实验物理学家的功绩，他们被授与了1990年诺贝尔物理奖。

二、电荷守恒定律

1747年富兰克林(B. Franklin)最早提出电荷守恒定律。他指出：在一个孤立系统内发生的任何过程中，电荷总数(即正负电荷的代数和)保持不变。现今所有的实验事实都证实了这一点。在宏观世界发生的带电过程中，伴随着带电粒子的转移，物体所带电荷可以从一个物体转移到另一个物体。但电荷的总量既不能增加，也不会减少。即使在微观世界中发生的过程，仍然遵守电荷守恒定律。例如正负电子湮灭的过程，是带单位负电荷的电子与带单位正电荷的正电子相互作用，产生两个不带电荷的光子。过程前后电荷总量保持不变，均为零。

实验表明，一个带电系统的总电荷不因系统的运动而改变。用不同的运动参考系来研究带电系统，其电荷总数不变，而不像时间、长度和质量这些物理量，相对论将指出它们会随着所选的不同运动参考系而发生改变。电荷的这一性质，称为电荷不变性，是自然界中一个非常重要、奇妙的事实。

三、库仑定律

库仑定律是描述两个相对静止于同一惯性系的点电荷之间相互作用的定律。真空中两个点电荷之间相互作用力的大

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, 且同号电荷相斥, 异号电荷相吸。

用矢量形式写出的库仑定律为:

$$F_{21} = K \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

$$F_{12} = K \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \hat{r}_{21}$$

(12-1)

式中 F_{21} 代表作用在 q_2 上的力, F_{12} 代表作用在 q_1 上的力, r_{12} 和 r_{21} 代表 q_1 、 q_2 之间的距离, $\hat{r}_{12}$ 代

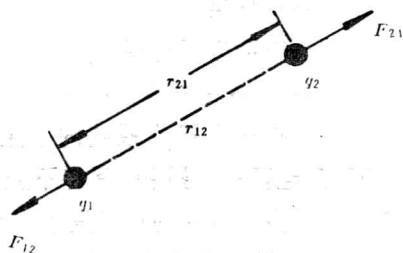


图 12-1 库仑定律

表由 q_1 指向 q_2 的径矢的单位矢量, $\hat{r}_{21}$ 代表由 q_2 指向 q_1 的径矢的单位矢量, K 为比例常数。在国际单位制中, 测得 K 值为

$$K = 8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \quad (12-2)$$

在计算精度要求不高的场合, 可取 $K = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ 。在以后的研究中, 通常将 K 写成

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (12-3)$$

ϵ_0 称为真空电容率, 又称真空介电常量, 其值为

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

库仑定律的矢量形式可写成