

高等学校教学用书·理论物理基础系列教程

3

电磁学_(上)

〔日〕长岡洋介 著
郭 汾 译
梁 绍 荣 校

北京师范大学出版社

高等学校教学用书

理论物理基础系列教程

第三册

电 磁 学 (上)

〔日〕长岡洋介 著

郭 汾 译

梁绍荣 校

2012

北京师范大学出版社

高等学校教学用书
理论物理基础系列教程

第三册

电 磁 学 (上)

〔日〕长岡洋介 著

郭 汾 译

梁绍荣 校

•

北京师范大学出版社出版
新华书店总店科技发行所发行
北京通县燕山印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 6.375 字数: 148千

1989年5月第1版 1989年5月第1次印刷

印数: 1—2 000

ISBN 7-303-00429-7/O·907

定 价: 1.60 元

原 序

物理学是理工科学生必不可少的基础课之一。因为理工科任何专业的基础必然与物理学有密切关系。理工科学生要想在学习专业课之后再自学物理学，很难获得令人满意的结果。就是说，必须在大学一、二年级扎扎实实地掌握物理学的基础知识。

这样，最重要的就是同学们要有积极的学习热情。同时，需要有一本向学生们传授物理学知识、指导学生学习方法的入门书。这套《理论物理基础系列教程》正是为了起到以上作用而编辑的，这套书的编辑方针与以往教科书有很大差别。

力学和电磁学是所有与物理学有关的重要学科的基础。因此，大部分学校要在低年级学完此课程。但象流体力学则可以作为选修课开设，也可以由同学们自学。另外，还需要有大学二年级学历能够阅读的、内容充实的量子力学和相对论等教材。

编者基于这种观点，选择了物理学的基础课，编写了《理论物理基础系列教程》，这套丛书共10册，包括《力学》、《分析力学》、《电磁学》(上、下)、《量子力学》(上、下)、《热力学与统计力学》、《弹性体与流体》、《相对论》及《物理用数学》等八个科目。所有这些科目不全是(日本)大学一、二年级的课程。但各科目可以各自独立学习，力争做到大学一年或二年级的学生能够读懂。

在物理学教材中，往往有很多公式和现象，在期末考试之前，学生们常常要死记硬背，这不但掌握不了物理现象的本质，反而产生厌恶情绪。我们对这套教程的读者所应考虑的最重要问题，不是死记公式和现象，而是学会掌握事物本质的能力。

物理学相信一切事物都源于少数基本事实，而它们又遵循少

数基本定律，物理学求得这些定律。这些明确的基本事实和定律一定有助于同学们理解，在彻底理解的基础上，同学们通过自己亲身的努力去摸索事物的本质，这就是所谓的“物理学的思考方法”。

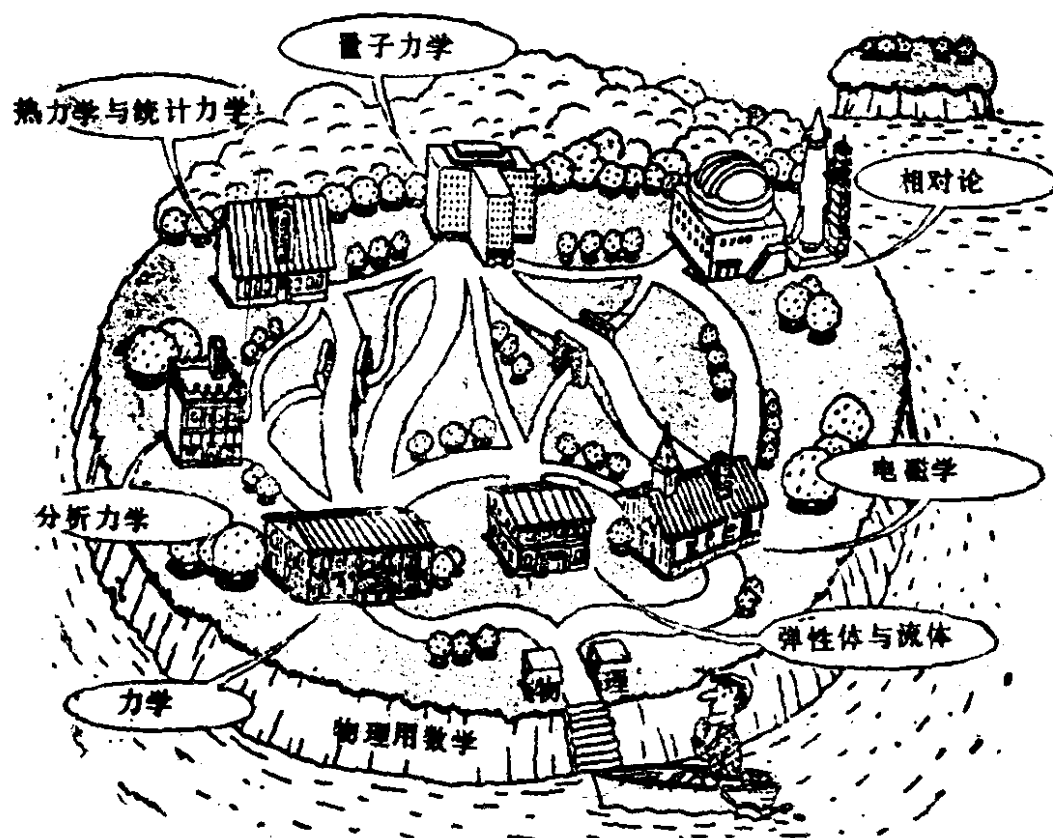
不仅限于物理学，科学的每个领域，都要探求事物的本质，但由于物理学发展的比较早，基础部分成熟，可以看做一个典型例子。因此，掌握“物理学的思考方法”的能力，不仅对于将来钻研物理学的同学们，而且对于钻研其它领域的同学都应该说是大有好处的。

在日常生活中，我们经常无意识地使用象时间、空间、力、压强、热量、温度、光等这样的物理学基本概念，物理学对这些日常使用的概念又重新给予了严格的定义，并与基本规律联系起来，物理学这样繁杂也是同学们厌烦的原因之一。但是，如果想根据基本事实和规律探索事物的本质，即使是日常感知的事物，也有必要详细弄清其实验的根据，重新明确与基本规律的关系，何况还涉及到超过我们日常体验的领域。例如：处理原子内部问题时，甚至有必要提出似乎与常识和直观相矛盾的新概念。因为物理学根据实验和观测不断扩大我们的经验世界，所以与其这样，倒不如改变常识和直观更有必要。

正如这样，用“物理学的思考方法”考虑事物，决不是很容易的事情。但是，如果采用正确的方法，是有可能掌握的。本教程的撰稿者们力求做到精选内容，所选的素材力争讲述通俗易懂，便于掌握。希望读者们和作者一起探求事物的本质。这样一来，自然而然地就能够学会“物理学的思考方法”。各卷篇幅都不大，不需要其它参考书就能读懂，但决不是简单的物理学摘要。希望读者认真阅读。

如上所述，因为各科目基本上可以独立阅读，所以根据需要，从哪个科目开始阅读都可以。但是，作为基本联系，可用图

解的形式来表示各科的相互关系。



从图的前面向里延伸的宽路，表示传统的路线，窄路则表示做为相关联的学科，可以共同阅读。例如，《弹性体与流体》是集中了现代风格的弹性力学和流体力学的，但与《电磁学》中的场的概念相关联。而作为场的经典理论，又可以与《相对论》加以对比，这一卷的波动部分，对于《量子力学》的理解也有帮助。另外，每卷都广泛涉及到数学，为不脱离物理学本身，同时阅读《物理用数学》是大有益处的。在整理这套《理论物理基础系列教程》之际，编者阅读了全卷的原稿，也请执笔者提出了各种要求，再三改稿。另外，不断采用了执笔者们的相互意见和岩波书店编辑部所提出的见解。今后在听取读者意见的同时，将进一步加以修正。

编者 户田盛和 中嶋贞雄

1982年8月

译者序

这套《理论物理基础系列教程》是根据日本岩波书店1982—1984年出版的《物理入门コース》(物理学入门教程)翻译而成。原教程的主编者是户田盛和与中嶋貞雄。本书在日本颇受欢迎，在全套书出齐之前，先出的几本已经重印了三四次。中译本根据我国习惯，定名为《理论物理基础系列教程》。

这套《系列教程》共十本，计有《力学》、《分析力学》、《电磁学》(上下)、《量子力学》(上下)、《热力学与统计力学》、《弹性体与流体》、《相对论》和《物理用数学》。各册篇幅不大，自成体系，而十本合起来又构成一个完整的整体。本书的起点相当低，有我国工科一年物理课基础的读者即可学习。但其达到的深度并不低，大体上只略低于我国综合性大学的理论物理各课的大纲要求，而在广度上则广于后者，并含有较多新鲜内容。

本书富有日本教材所独有的风格和特点：选材精炼，讲解简练而明快又不失科学性；系统经过精心安排，组织周密，突出重点，深入浅出。在引导读者逐步掌握正确概念方面有其独到之处，书中不乏精辟的论述和精采简捷的推导与证明，在不知不觉之中把读者带到较难较深的境界。本书是我国高等学校理论物理各课较好的教学参考书，师范院校和成人教育院校可以直接采用作为课本。本书也是中学教师进修、工程技术人员知识更新和知识青年自学的理想读物。

本书的翻译工作由喀兴林、王锡绂、梁绍荣和任萍四人组成工作小组负责，他们担任组织译校、联系出版、保证译文质量和其它各项事务工作。本书的译校人员以北京师范大学和东北师范

大学的人员为主，他们大多数都具有高级职称及多年的日文经历。翻译工作以忠于原作为原则。

由于我们学识有限，加之译校人员众多，译文中容或有不当之处或彼此不甚统一之处，敬请各界读者指正，以便再版时修改。

喀兴林

1988年6月

前 言

本《理论物理基础系列教程》第三册与第四册所介绍的电磁学，与力学并列是物理学基础的一个重要领域。顾名思义，电磁学是以电与磁的现象为对象的。说起电磁现象，有人认为至多不过是包罗万象中的一种特殊现象，实际上远非如此。应该说在某种意义上它是自然现象中的基本现象，关于这个问题，在学完这两卷书特别是学过全部教程后，就会逐步理解。

初学者往往认为电磁学不容易学习。如果是力学，因在日常生活里会经常遇到诸如推动物体运动这类简单的力学现象，在学习力学之前，对力与物体的运动单凭经验就已有一定程度的了解，所以到学习力学时就能以从前遇到的现象为感性知识。即便是象稍微复杂点的力学机械，就是不懂力学法则，只要看看实物也就能大概理解这个机构。例如有座老式的上发条的带摆的钟，钟摆摆动起来放松了发条，拨动齿轮使指针走动，这套机构说起来并没有什么玄奥的地方。

电磁学是以电磁场为研究对象的。而电磁场是由于电荷或电流的作用使空间发生了某种变化，它与物体的运动不同，用肉眼是看不见的。不错，在我们的日常生活里的确经常遇到电磁现象，而且身边也充斥着各种用电的设备。但是，即便多次重复象受到摩擦放电电击那样的烦人经验，大概也得不出我们周围就存在着电磁场这样的实际感受。对那些不懂电磁规律的人，即使遇到象洗衣机这类的简单电器，也只知道合上开关它就开始转动，而其内部就全当成是个黑盒子。更不用指望他能理解为什么电子钟表的表芯能够指示钟点的了。

问题是对那些希望学习电磁学的人们，有关电磁的日常经验

及对电磁场的实际感受几乎等于零。不象学力学时能利用以往的经验来帮助学习，这就是学习电磁学时遇到的困难吧。

那么，如何才能学好电磁学呢？说实在的我也没什么好主意。应该象《理论物理基础系列教程》一文作者所言，反复学习即可弥补经验之不足或使经验得到扩展，除此之外别无良法。另外，就各种情况来探索电磁场的同时，即应逐步细心地导出电磁场规律。本书就以此为目标，并按照这种办法进行了编写。

这里，仅准备讲讲以下的事情。当初自己初学电磁学时曾感到有迷惑不解之处，即为什么要特意导入象电磁场这种既瞧不见又实际感受不到的东西呢，我想读者在高中学习物理课的电场及磁场时，大概也碰到过这类问题吧。如果打算真正感受到电磁场的确是一种物理的实际存在的物质，光凭学点简单静电场及静磁场之类的知识，显然是很不够的。通过处理随时间变化的电磁场，就能初步理解电磁场的真实性。即便多少还有不大理解的地方，但要求到最后能融会贯通。然后，当学习告一阶段，应能重新回顾思考一遍。我认为这就是学习电磁学时应具备的重要思想准备。

这本《电磁学》分为上、下两册。上册处理与时间无关的静电场与静磁场。下册则提出与时间有关的电磁场及物质中的电磁场这些问题。两册合在一起组成了电磁学，根据前面讲过的道理，希望读者应把它们当作一个整体进行通读。

本着遵循这套系列教程的方针，本书努力作到尽可能平易地叙述电磁学的基本内容。在数学上如果超越高中程度的物理与数学的基础知识时，就仔细地增加说明。只要具备高中程度的物理与数学的基础知识，就能做到无需参考他书即可读懂本书。

本书执笔之际，承蒙这套系列教程的两位编者户田盛和及中嶋贞雄二君多方指点，谨在此表示衷心感谢。对岩波书店编辑部，特别是片山宏海君给予种种宝贵意见，以及直到本书的出版

所给予的格外帮助，在此都一并深表谢意。

长岡洋介
1982年8月

目 录

第一章 作用在电荷上的力.....	(1)
§1-1 荷载电荷的物体.....	(1)
§1-2 库仑定律.....	(5)
§1-3 电荷的单位.....	(7)
§1-4 矢量.....	(10)
§1-5 标量乘积与矢量乘积.....	(13)
§1-6 超距作用与近距作用.....	(19)
第二章 静电场的性质.....	(21)
§2-1 电场.....	(21)
§2-2 各种静电场.....	(26)
§2-3 电力线.....	(31)
§2-4 高斯定理.....	(33)
§2-5 高斯定理的应用.....	(38)
§2-6 保守力的条件.....	(41)
§2-7 静电位.....	(46)
§2-8 静电能.....	(53)
§2-9 电偶极子.....	(59)
§2-10 静电场与流体场.....	(62)
第三章 静电场的微分定理.....	(66)
§3-1 从积分形式到微分形式.....	(66)
§3-2 微分形式的高斯定理.....	(67)
§3-3 微分形式的无旋定理.....	(75)
§3-4 泊松方程.....	(82)
§3-5 泊松方程的解.....	(85)
第四章 导体与静电场.....	(92)
§4-1 导体与绝缘体.....	(92)

§4-2	导体周围的静电场	(93)
§4-3	边值问题	(97)
§4-4	导体周围的静电场(例题)	(100)
§4-5	电容	(103)
§4-6	电容器	(108)
§4-7	静电场的能量	(110)
第五章	稳恒电流的性质	(114)
§5-1	电流	(114)
§5-2	稳恒电流与电荷守恒	(116)
§5-3	欧姆定律	(120)
§5-4	导体中的电流分布	(122)
§5-5	导电的微观机构	(124)
第六章	电流及静磁场	(128)
§6-1	磁铁与静磁场	(128)
§6-2	在磁场中对电流的作用力	(130)
§6-3	作用在运动带电粒子上的力	(134)
§6-4	电流激发的磁场	(137)
§6-5	磁场及磁通密度	(143)
§6-6	电磁单位	(144)
§6-7	磁偶极子	(145)
§6-8	安培定理	(150)
§6-9	安培定理的应用	(157)
§6-10	矢势	(159)
附录	习题略解	(169)
	基本物理常数	(189)

第一章 作用在电荷上的力

荷载正负电荷的是质子和电子等基本粒子。基本粒子的数目虽有变化，但电荷的总和始终保持一定。作用在电荷之间的力，与距离的平方成反比，这一点与万有引力相似。然而，在电荷的情况下，同符号间的作用是排斥力，异符号电荷间的作用却是吸引力，其强度远比万有引力大得多。

§ 1-1 荷载电荷的物体

现在，在我们的周围，的确存在以多种多样形式利用着电。仅从家庭这个角度来看，就有照明灯具、烤面包炉、洗衣机、电视等所谓家用电器，直到电子手表、计算器、电子风琴等，简直数不胜数。通过卫星中继，在家里就可从电视中看到外国发生的事情。一出家门就会看到电车或工厂的机器是靠电力工作的，银行存款是使用计算机来结算的等等。至于利用电的方法，则有从单纯用作热源、光源、动力源，到用电磁波进行通讯，甚至在电子学里的高度应用，种类极为繁多。今日我们的生活，要是没有电的话那简直不可想象。

然而，达到如此广泛地利用电并非很远的事情。大约40多年前我还是孩子的时候，我家中使用的电器产品，至多也不过只是白炽电灯及收音机而已。人类利用电大概是从1880年以后开始的，其历史才经历了一个世纪。

为了能如此广泛地利用电，首先对有关电现象的自然规律必须认识清楚。我们即使不了解力学规律，单凭经验就能制作或使

用工具及简单的机械，但对电来说就不行了。在经历了长期研究的历史之后，于1864年，麦克斯韦 (J.C.Maxwell) 搞清了电磁的基本方程。此后，仅仅在100多年间就能出现如此广泛的利用电，实在令人赞叹不已。

人类开始注意电的现象，据说最早始于希腊时代。他们用琥珀与毛皮等物相摩擦，发现有能吸引轻小物体的奇怪现象。英语中的electricity一词，就源于希腊语的琥珀， $\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\omicron\nu$ 这个词。这种摩擦生电的现象，我们经常也会碰到，但常常是令人讨厌的。

16世纪以后，才开始对电的现象进行了系统的研究。知道了由摩擦产生的电有两种，同种的电相斥，异种的电相吸，和异种的电相接触就发生中和，电即消失。由此，人们认为两种电分别是荷载电的流体的过剩状态及不足状态，并将此称为**正电**及**负电**。在物体上出现电的实体，就意味着电被物体所荷载，故有**电荷**之称。

现在，我们知道，荷载电荷的是**电子或质子**的所谓微观粒子。物质都是由许多原子所构成，原子是由带正电荷的原子核和其周围有带负电荷的电子相结合而组成的。原子核是由不带电荷的**中子**及带正电荷的**质子**所构成。电子、质子、中子等是构成物质的基础粒子，称为**基本粒子**。这种电子或质子就是荷载电的粒子。

电子及质子所带的电荷，符号相反大小相等。因正负电荷间有强力的吸引，所以原子一般由与原子核内质子数目相同的电子在原子核的周围相结合而成。正负电荷的分布是以中心为正，周围为负，但作为整体则恰好抵消，所以原子呈电中性状态。如果因某种缘故使电子不足时，原子变为正离子，电子多余时就变为负离子。宏观物质也如同此，平时正负电荷为同量而呈中性，当有两种物质譬如琥珀与毛皮相互摩擦时，电子从这种物质转移到

那种物质，失去电子的物质带正电，得到多余电子的那物质即带负电。所谓荷载电的流体，其实就是这个电子。

这样一来，电荷的量就以电子或质子的电量作为最小单位，其大小称为**基本电荷**。当宏观物质因摩擦带电，或因电的分解在阳极、阴极间发生电的移动时，其电荷必须是基本电荷的整数倍。然而，若基本电荷 e 用 §1-3中所述的库仑(C)的单位来表示时，即为

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C} \quad (1.1)$$

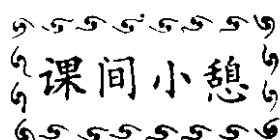
从宏观上看它是非常之小。所以，今后在本书中处理宏观电现象时，把电荷当作连续的量是不成问题的。

这里，想讲到有关电的一个重要性质，那就是电荷守恒，即正负电荷的总和在任何场合下都保持不变。在高能现象里，基本粒子的数目并不保持一定。譬如在某种放射性元素的原子核里，因发生蜕变将中子变为质子，与此同时释放出一个电子。其结果虽然减少了一个中子，但质子及电子却各增了一个，而电荷则为正、负、零并没有变化。众所周知，在普通化学变化里能看到的是质量不变，而在原子核或基本粒子参与的高能变化里，质量并不守恒，然而却看不到电荷不守恒的变化。这就意味着，电荷是基本粒子所具有的最基本性质之一。

现在，微观粒子的行为可用量子力学讲清楚。电子由于电力被原子核所吸引，而且各电子之间还互相排斥，它们的运动遵循量子力学的规律。这样的微观粒子的行为，决定了各种物质的性质，譬如金属导电而玻璃却不导电，玻璃透明而金属却不透明等。不仅如此，甚至复杂的现象，从微观看，电子的运动仍是基本的。希腊时代，认为摩擦过的琥珀可吸附轻小物体是一个特殊的现象，实际上应该说电的现象为自然界中最基本的现象。

以后就会明白，电现象与磁现象是密切相关的，因此我们把

夸克



物质的微观结构是从1930年代开始逐步明朗的。当时认为构成物质的基本粒子是质子、中子、电子等有限的几种。第二次世界大战后，随着实验手段的进步，相继发现了新的基本粒子，现在已经知道存在着超过100种以上的基本粒子。为了统一理解这么多基本粒子的性质，产生一个想法：有比基本粒子中的质子或中子更为基本的粒子，由它们组合成为物质。这些更基本的粒子就是夸克。

夸克虽然也有若干种，但这些夸克所带的电荷并不是基本电荷 e 的整数倍，而是 $\pm \frac{2}{3}e$ 、 $\pm \frac{1}{3}e$ 即所谓的分数电荷。但是，当它们结合起来形成基本粒子时，例如形成质子，就以两个电荷为 $\frac{2}{3}e$ 的夸克和一个电荷为 $-\frac{1}{3}e$ 的方式组成，电荷之和恰好为 e 。因为质子是由三个夸克结合起来的，若对质子施以强力轰击，按理它就该破碎并将飞溅出夸克。按照这种考虑并作了实验，结果是不论对质子多次进行轰击都出现不了夸克。现在认为，各夸克之间是以绝对不能分隔的特殊力相结合着，夸克不可能单独出现在基本粒子之外。果若如此，即使夸克的电荷为分数值，实际上把 e 作为电荷的最小单位也不会改变。

但是，宇宙产生的初期，当出现基本粒子时那些未被结合的夸克，现在或许还残存在什么地方尚未可知。探索夸克的工作现在仍在进行着，但尚未见到已找到夸克的可信赖的报导。

二者合在一起叫作**电磁**，研究它的性能的物理学，如本教材标题所示，称作**电磁学**。今后，用本教材学习电磁学时，最初接触到的不仅是电的应用方面，而重要的是广泛的自然现象及支配物质构造的基本规律，对此，是不该忘记的。