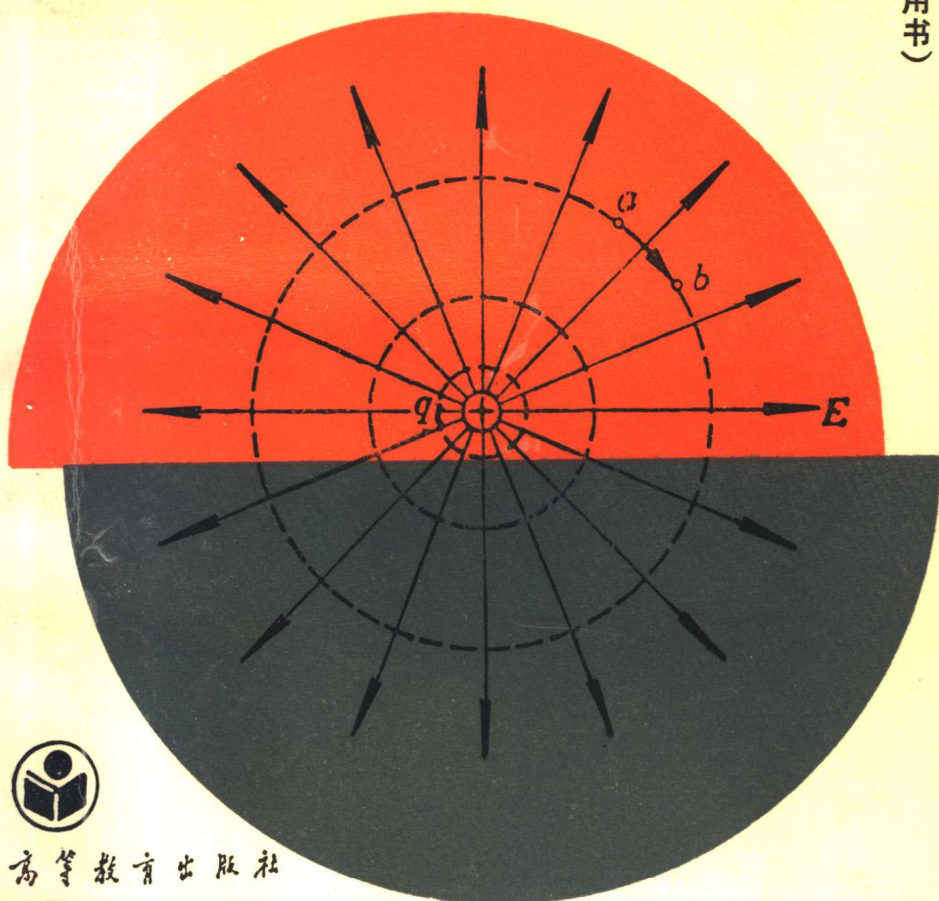


高等学校函授教材(兼作高等教育自学用书)

物理学

(第二版)下册

严导淦 编



高等教育出版社

高等学校函授教材

(兼作高等教育自学用书)

物 理 学

(第二版)

下

册

严导淦

编



高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 提 要

本书是为高等学校工科函授各专业编写的物理教材,可兼作高等教育自学考试考试的参考书,也可供夜大学、电视大学、职工大学、业余大学等各类成人高等院校师生选用或参考。

本书是在原《物理学》(第一版)的基础上,并参照国家教育委员会1987年审定的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》和普通高等理工院校成人教育研究会物理教学研究组1989年审订的《高等工业学校(本、专科)大学物理课程函授教学基本要求(送审稿)》修订而成的。本书修订后在教材内容的选取上更适应工科各专业的需要,同时适当增加了若干“选读材料”,以加强理论与实践的联系。

本书上册内容有:函授、自学方法的说明,力学的物理基础,机械振动和机械波,热学基础;下册内容有:电磁学,光学,相对论和量子物理简介。书中例题、习题较多,在各学习阶段后附有测验作业,书末有“物理常量”、“常用数学公式”等附录,可供查阅。

高等学校函授教材

(兼作高等教育自学用书)

物 理 学

(第二版)

下 册

严导淦 编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

上海新华印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 19.875 字数 478,000

1982年6月第1版

1992年2月第2版 1992年9月第1次印刷

印数 0,001—7,700

ISBN 7-04-003432-8/O·1046

定价 5.80 元

目 录

第四编 电 磁 学

引言	1
第 十 章 真空中的静电场	2
§10-1 电荷	2
§10-2 电荷间的相互作用 库仑定律	7
§10-3 静电场	14
§10-4 电场强度 场强叠加原理	16
§10-5 场强的计算	21
§10-6 电场的图示法——电力线	37
§10-7 电通量 真空中静电场的高斯定理	40
§10-8 高斯定理的应用	47
§10-9 静电场的环路定律 电势能	53
§10-10 电势 电势的计算	60
§10-11 电场的图示法——等势面	69
§10-12 电场强度与电势的关系	71
学习指导	76
第 十 一 章 静电场中的导体和电介质	81
§11-1 静电场中的金属导体	81
§11-2 静电场中的电介质	93
§11-3 有电介质存在时的静电场和高斯定理	99
§11-4 导体的电容	108
§11-5 电容器的电容	111
§11-6 电容器的接法和构造	118
§11-7 电场的能量	123
学习指导	128

选读材料——静电的应用和静电危害的防治	131
第五次测验作业	136
第十二章 电流	142
§12-1 导体中电流的形成	142
§12-2 电流强度 电流密度	147
§12-3 稳恒电场 稳恒电流的连续性	150
§12-4 欧姆定律	153
§12-5 电流的功和功率 焦耳定律	159
§12-6 电阻的连接	162
§12-7 电动势 闭合电路的欧姆定律	168
§12-8 一段含源电路的欧姆定律	179
学习指导	184
第十三章 真空中的稳恒磁场	185
§13-1 磁的基本现象	185
§13-2 磁场 磁感应强度	190
§13-3 磁感应线 磁感应通量 磁场的高斯定理	195
§13-4 毕奥-沙伐定律及其应用	200
§13-5 运动电荷的磁场	211
§13-6 安培环路定理	213
§13-7 安培环路定理的应用	217
§13-8 磁场对载流导线的作用力 安培定律	223
§13-9 均匀磁场对平面载流线圈的作用	230
§13-10 磁场对运动电荷的作用力——洛伦兹力	239
§13-11 带电粒子在电场和磁场中的运动	243
学习指导	252
第十四章 磁介质	256
§14-1 磁场中的磁介质	256
§14-2 有磁介质存在时的磁场和安培环路定理	260
§14-3 铁磁质	267

学习指导	271
选读材料——磁性材料在工程上的应用	273
第六次测验作业	276
第十五章 电磁感应	281
§15-1 电磁感应现象 楞次定律	281
§15-2 法拉第电磁感应定律	288
§15-3 动生电动势	293
§15-4 在磁场中转动的线圈交流发电机的基本原理	303
§15-5 自感	306
§15-6 互感	314
§15-7 涡电流	319
§15-8 磁场的能量	322
学习指导	326
第十六章 电磁场与电磁波	328
§16-1 涡旋电场	329
§16-2 位移电流	332
§16-3 电磁场理论的基本内容 麦克斯韦方程组的积分形式	336
§16-4 电磁振荡	341
§16-5 电磁波	346
§16-6 电磁波谱	354
学习指导	357
第七次测验作业	360

第五编 光 学

引言	365
第十七章 光学基本知识	367
§17-1 几何光学的基本定律	367
§17-2 透镜	374
§17-3 光的色散和吸收现象	376

第十八章 光的干涉	379
§18-1 光的干涉 光强度	379
§18-2 相干光的获得	388
§18-3 杨氏双缝实验 洛埃镜	386
§18-4 光程和光程差 薄膜干涉	393
§18-5 劈尖的干涉 牛顿环	403
§18-6 迈克耳孙干涉仪	411
学习指导	413
第十九章 光的衍射	415
§19-1 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	415
§19-2 单缝衍射	418
§19-3 衍射光栅 衍射光谱	425
*§19-4 光学仪器的分辨率	433
§19-5 伦琴射线的衍射 布喇格公式	437
学习指导	441
第二十章 光的偏振	443
§20-1 天然光和偏振光	443
§20-2 反射和折射时光的偏振	446
§20-3 偏振片的起偏和检偏 马吕斯定律	450
§20-4 光的双折射现象	454
§20-5 偏振光的干涉及其应用	457
学习指导	460
第八次测验作业	461

第六编 相对论和量子物理简介

引言	465
第二十一章 狭义相对论简介	466
§21-1 力学的相对性原理 伽利略变换	466
§21-2 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换	471

§21-3 相对论的时空观	476
§21-4 狭义相对论的动力学基础	484
学习指导	489
第二十二章 光的量子性	491
§22-1 热辐射 基尔霍夫辐射定律	491
§22-2 绝对黑体的辐射定律	496
§22-3 普朗克的量子假设 普朗克公式	498
§22-4 光电效应	501
§22-5 爱因斯坦方程 光子 光的二象性	506
§22-6 光电效应的实际应用	510
*§22-7 康普顿效应	512
学习指导	515
第二十三章 原子的半经典量子理论	518
§23-1 原子的有核模型	518
§23-2 原子光谱的规律性	521
§23-3 玻尔的氢原子理论	525
§23-4 玻尔-索末菲理论 空间量子化	536
§23-5 旧量子理论的缺陷	542
学习指导	543
第九次测验作业	546
第二十四章 量子力学基础	548
§24-1 德布罗意假设 实物粒子的二象性	548
§24-2 不确定关系	552
§24-3 波函数	554
§24-4 薛定谔方程	559
§24-5 定态薛定谔方程的应用	562
§24-6 电子的自旋 自旋磁量子数 原子的量子理论要点综述	571
*§24-7 元素的周期系和原子的电子壳层结构	574
*§24-8 激光	580

学习指导	586
第二十五章 原子核物理学简介	589
§25-1 原子核的结构和基本性质	589
§25-2 原子核的衰变和衰变规律	595
§25-3 核反应	601
§25-4 原子核能的利用	605
*§25-5 基本粒子简介	611
学习指导	615
附录	617
附录一 希腊字母表	617
附录二 常用数学符号	617
附录三 一些常用数字	617
附录四 几种常用单位的换算	618
附录五 常用的物理恒量	622
附录六 数学公式	622
主要参考书目	625

第四编 电 磁 学

引 言

电磁学是研究电磁现象及其基本规律的一门学科。它是现代工程技术和自然科学的重要基础。

在日常生活和工农业生产的电气化、自动化方面以及医疗、生物学等各个领域,电磁学规律得到了广泛的应用。例如,电动机是生产和运输中许多机械的原动力,电灯和电炉是照明和加热的常用器具,电话、电报、电传、电视、电子计算机等是信息传输中最有效的工具。电的广泛应用是和电所具有的各种特性分不开的。第一,电能较容易转变为机械能、光能、化学能等其他形式的能量,所以利用电作为能源最为简便。第二,大功率的电能便于远距离传输,而且能量的损耗较少。第三,电磁信号可借电磁波的形式在空中传播,能够在极短的时间内把信号传送到遥远的地方。因而便于远距离控制和自动控制,使工业自动化成为可能。

电磁学的研究,对人类认识物质微观结构也是极重要的。从表面来看,自然界中许多现象,如植物的生长、水的冻结等等,似乎都与电磁作用无关,但是现在我们知道,在从原子到细胞的广阔领域内,许多物质的物理和化学性质都与电磁作用有关。事实表明,自然界许多现象的本质都离不开电磁作用。

19世纪以来,许多科学家对电磁现象的规律和物质的电结构做了大量的实验和理论研究,总结出了经典电磁理论。

本编主要研究经典电磁学。

第十章 真空中的静电场

在本章和下一章中，我们将讨论静电学的内容。静电学主要研究静电场的基本性质和规律，以及导体和电介质与静电场之间的相互作用。首先，我们研究真空中的静电场，然后，在下一章中，讨论静电场中的导体和电介质，并介绍静电学在工程技术中的应用。

本章中基本概念较多，应很好钻研，这是学习本编其他各章的基础。其次，在学习本章内容时，必须经常联系前面力学中的有关概念，将有助于对问题的理解。从本章开始，在电磁学整篇内容中，不论是阅读正文或解算习题、作业，都会经常用到高等数学和有关矢量方面的知识，建议读者事先复习一下。

§ 10-1 电 荷

(一) 电荷

一切电的现象都起源于电荷的存在或电荷的运动。那么什么



图 10-1 用丝绢摩擦过的玻璃棒能吸引轻微物体

叫做电荷呢？我们把两种质料不同的物体，例如丝绢和玻璃棒相互摩擦后，它们都能吸引羽毛、小纸片等轻微物体（图 10-1）。这

时，我们就说丝绢和玻璃棒这两个物体都已处于带电状态，它们分别带有电或有了电荷。处于带电状态的物体，称为带电体。归纳大量的实验结果证明，只存在两种电荷，即正电荷和负电荷^①。带

① 我们沿袭历史上的规定：如果物体所带的电荷，与用丝绢摩擦过的玻璃棒所带电荷是同种的，则该物体所带的电荷叫做正电荷；若与用毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带电荷是同种的，则叫做负电荷。电荷正、负的这种人为规定是相对的。

同种电荷的物体互相排斥，带异种电荷的物体互相吸引。这种相互作用力(吸力或斥力)便是电性力。根据带电体的性质和相互之间作用力的大小，我们能够确定物体所带电荷的多少(带电的程度)。表示物体所带电荷多少的量称为电量，并以 q 或 Q 表示。在国际单位制(SI)中，电量的单位是“库仑”，简称库，其符号为C。

使物体带电，叫做起电。上述用摩擦方法使物体带电，叫做摩擦起电。任何物体都可能带电。要使物体带电，除上述摩擦起电外，有时也可利用接触起电、静电感应等方法。

要知道物体是否带电，通常可用验电器这种仪器来检验。验电器的构造如图10-2所示。图中 C 是一金属球，它和金属杆 D 相连接，两片极薄的金箔 E_1 和 E_2 装在金属杆 D 的下端，金属杆 D 穿过橡胶塞 B ，固定在有观测窗的盒内。检验时，把物体与金属球接触，如果物体带电，就有一部分电荷传到两片金箔上，金箔由于带了同种电荷，彼此排斥而张开。所带的电荷越多，张开的角度越大；如果物体不带电，则金箔不动。当已知物体带电时，如要识

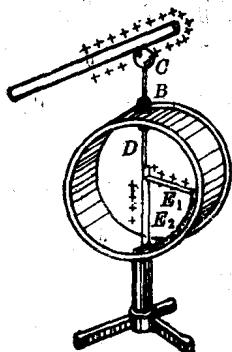


图10-2 验电器

别它所带电荷的种类，只要先把这带电体与金属球接触，使金箔张开，然后再用已知的带足够多正电的物体接触验电器的金属球，如果金箔张开的角度更大，则表示该带电体的电荷为正的。反之，如果金箔张开的角度减小，或先闭合而后张开，则表示带电体的电荷是负的。以上事实意味着，带电体再增加同种电荷时，电量增大；带电体再增加异种电荷时，电量减小。因此，人们通常将正、负电荷的电量分别表示为正值和负值。例如，将带有等量异种电荷的

物体放在一起,由于它们所带的正、负电荷的数值相等,因而互相抵消,电量的代数和为零。这时,它们对外既不显示带正电,也不显示带负电,或者说它们呈电中性,这种现象称为电中和。

至于物体为什么会带电?我们可从物质的内部结构来说明。

(二) 物质的电结构理论

我们知道,常见的实物(固体、液体、气体)都是由分子、原子组成的。任何化学元素的原子,都含有一个带正电的原子核和若干个在原子核周围运动着的带负电的电子。原子半径的数量级为 10^{-10} 米,原子核半径的数量级为 10^{-15} 米,可见原子核要比原子小很多。

原子核中含有带正电的质子和不带电的中子,原子核所带的正电就是核内全部质子所带正电的总和。一个质子所带电量的大小和一个电子所带电量的大小相等。此电量大小通常以 e 表示。据测定, $e \approx 1.60 \times 10^{-19} \text{C}$ 。质子的质量和中子的质量大致相等,两者都大约是电子质量的 1840 倍。据测定,电子的质量 $m \approx 9.11 \times 10^{-31} \text{kg}$ 。现将上述结果列于表 10-1 中,供读者学习和解题时参考。

表 10-1 电子、质子、中子的电量和质量

	电 子	质 子	中 子
电 量	$-e$	e	0
质 量	m	$1840m$	$1840m$

其中: $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{C}$, $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{kg}$

由于任何实物都是由大量原子组成的,而每一原子又由带正电的原子核和带负电的电子所构成,因此从电学的角度来看,任何物体都是一个拥有大量正、负电荷的集合体。在正常状态下,原子核外电子的数目,等于原子核内质子的数目,因此每个原子里电子

所带的负电和原子核所带的正电都相等,原子内的净电量为零(即正、负电荷的代数和为零),因而每个原子都呈电中性。这时,整个物体对外界不显示电性,换句话说,在一切不带电的中性物体中,总有等量的正、负电荷同时存在。

但是原子核所带的正电荷和核外电子所带的负电荷之间相互作用的电性力,随物质的不同而有强弱。如果有若干个原子或分子由于外来原因,失去一个或若干个电子,则这些原子或分子内的正电荷多于负电荷,从而就成为带正电的正离子。反之,如果有若干个原子或分子从外界获得了一个或几个电子,则这些原子或分子内的负电荷多于正电荷,从而就成为带负电的负离子。对整个物体来说,在这两种情况下都呈现带电现象。

今后,我们将利用上述的物质电结构理论,来说明许多电现象和磁现象。

(三) 电荷守恒定律

在前述两种质料不同的物体相互摩擦而起电的过程中,因摩擦而使每个物体中都有一些电子摆脱了带正电的原子核的束缚,转移到另一个物体上去。但由于不同质料的物体,彼此向对方转移的电子个数往往不相等,结果必然是一个物体因失去一部分电子而带正电,另一个物体因得到这部分电子而带负电。所以,摩擦起电时,两个物体总是同时带异种而等量的电荷;亦即,摩擦并不产生电荷,只不过是把电荷从一物体迁移到另一物体上去。

由摩擦起电和其他起电过程的大量实验事实表明,一切起电过程实质上都是使物体上正、负电荷分离或转移的过程,在这种过程中,电荷既不能消灭,也不能创生,只能使原有的电荷重新分布。由此可总结出电荷守恒定律:一个孤立系统的总电荷量(即系统中所有正、负电荷的代数和)在任何物理过程中始终保持不变。所谓孤立系统,就是指它与外界没有电荷的交换。电荷守恒定律也是

自然界中一条基本的守恒定律,在宏观和微观领域中普遍适用。

根据电荷守恒定律可知,电荷不能被创造或消灭,只能被迁移或中和。当我们分离正、负电荷时,必须付出某种形式的能量,以反抗正、负电荷间的吸引力而做功。在正、负电荷分离过程中,这功就转变为电能。相反地,两种电荷互相中和时,电能就转变为其他形式的能量(如热能、声能、光能等)。例如,大量的正、负电荷中和时,往往会发生火花,并伴有劈啪声,形成火花放电,火花放电时甚至还会引起爆炸^①。所以,随着物体起电或中和过程的进行,必定有电能和其他形式能量在相互转换着。并且,在转换过程中,是遵循能量守恒和转换定律的。

(四) 电荷的量子化

实验表明,电子是自然界具有最小电量的带电粒子。任一带电体的电量都是电子电量 e 的整数倍,这就是说, e 是电荷的一个基本电量值。当带电体的电量发生变化时,它只能按 e 的整数倍变化,不能作连续的任意变化。这种电量只能一份一份地取分立的、不连续的数值的性质,叫做电荷的量子化。电荷的量子就是 e 。不过,常见的宏观带电体所带的电量远大于电子的电量,在一般灵敏度的电学测试仪器中,电荷的量子性是显示不出来的,因此在分析带电情况时,可以认为电荷是连续变化的。这正象人们看到江河中滔滔流水时,认为它是连续的,而并不感觉到水是由一个个分子、原子等微观粒子组成的一样。

上面,我们从物质的电结构阐述了电荷的本源及其性质。从下节开始,我们将讨论电荷的宏观表现,不涉及其微观本质。

^① 例如,用管道输送干燥的粉末状物质(糖、面粉等)时,往往由于粉末颗粒间摩擦产生的正、负电荷中和而引起爆炸。为了避免火花放电事故,常需采取相应的措施,如:运油汽车都有铁链拖在地上,这就是为了让晃荡着的汽油与贮油罐器壁摩擦而带上的电荷泄放到大地中去,以免这些电荷积累起来而发生火花放电,酿成事故。

习题 10-1 (1) 简述物质的电结构理论.何谓电荷的量子化? 试述电荷守恒定律.

(2) 在干燥的冬天,人在地毯上走动时,为什么鞋和地毯都有可能带电?人在黑夜里脱化纤衣服时,为什么衣服上会出现闪光的火花?

§ 10-2 电荷间的相互作用 库仑定律

带电物体相互间有力的作用,这是电荷的一种性质,人们对电现象的认识,就是从这种作用开始的.一般地说,两个带电体间的相互作用,除了和它们所带的电量有关外,还和它们本身的大小、形状、电荷在带电体上的分布以及周围介质的性质等有关,情况相当复杂.为此,下面我们先讨论最简单的、也是最基本的问题,即两个相对静止的点电荷在真空中相互作用力的规律.

(一) 点电荷

在电学中,当所研究的带电体之间的距离比它们本身的线度大得多时,我们就可把这些带电体看作点电荷.电学中点电荷这个概念与力学中质点这个概念同样重要,即是从实际带电体中抽象出来的理想模型.点电荷本身不一定是体积很小的带电体,只是它本身的几何线度与它到其他带电体的距离相比,是微不足道的,因而它的形状和大小可以不必考虑,可用一个具有带电体全部电量的几何点来表示;这样、它在空间的位置也就便于确定.

(二) 真空中的库仑定律

1785年,库仑通过扭秤实验,总结出真空中两个静止的点电荷间相互作用的基本规律,称为真空中的库仑定律,简称库仑定律,可陈述为:在真空中,两个静止的点电荷之间的相互作用力的方向沿着它们的连线,作用力的大小 f 和电荷所带的电量 q_1 与 q_2 的乘积成正比,而和它们之间距离 r 的平方成反比,即

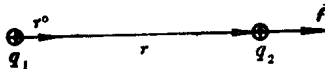
$$f = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1)$$

式中 k 是比例系数, 其值决定于式中各量的单位。上述静电力 f 常称库仑力。

为了确定力的方向, 在图 10-3 中, 若以 r 表示由 q_1 到 q_2 的矢径(位置矢量), 其大小为 $|r| = r$, 方向从 q_1 指向 q_2 , 则电荷 q_2 受到 q_1 的作用力 f , 可用矢量形式的库仑定律来表示, 即

$$f = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \left(\frac{r}{r} \right) = k \frac{q_1 q_2}{r^3} r^\circ \quad (2)$$

式中, $r^\circ = r/r$ 是沿 r 方向的单位矢量, 它标志位置矢量 r 的方向。上式中, 若 q_1 与 q_2 是同种电荷, 乘积 $q_1 q_2 > 0$, f 沿 r° 的方向, 表示为斥力[图 10-3(a)]; 若 q_1 与 q_2 是异种电荷, $q_1 q_2 < 0$, f 沿 $-r^\circ$



(a) q_1, q_2 为同种电荷



(b) q_1, q_2 为异种电荷

图 10-3 q_1 对 q_2 的作用力

方向, 表示为引力[图 10-3(b)]。

利用式(2), 同样可求电荷 q_2 对 q_1 的作用力 f 。这时, 只需把式中的 r° 理解为从 q_2 指向 q_1 的单位矢量就行了。

在国际单位制中, 电量的单位是库仑 (C), 距离的单位是米 (m), 力的单位是牛顿 (N), 这

时, 库仑定律中的比例系数 $k \neq 1$, 根据间接的实验推断, 其大小和单位为

$$k = 8.987776 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

计算时, 常取近似值 $k \approx 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ 。

在国际单位制中, 通常引入一个新的恒量 ϵ_0 来取代 k 。由于 k 是恒量, 所以 $1/4\pi k$ 也是一个恒量, 其值可记为 ϵ_0 , 即 $\epsilon_0 = 1/(4\pi k)$ 。由此, k 可表示成如下形式: